Grundzüge
der
Naturphilosophie

Diktate aus den Vorlesungen

von

Hermann Lotze 1817–81

Zweite Auflage = ov (1. A. 1882, IV, 112 S. = Ph. syl. 515 g/l)

Leipzig
Verlag von S. Hirzel
1889

Das Recht der Übersetzung ist vorbehalten.

Inhalt.

Diktate aus dem Winter-Semester 1874/75.

Einleitung.

§ 1.

Die Natur ist Gegenstand der folgenden Betrachtungen in dem doppelten Sinn einer eigentümlichen Wirkungsweise und der Gesamtheit von Erzeugnissen, die durch diese entsteht.

Als Modus agendi steht die 'Natur' als eigene Regsamkeit der Dinge im Gegensatz zu der Kunst, die denselben ihnen fremde Formen und Bewegungsweisen mitteilt, als völlig notwendige Entwicklung im Gegensatz zu jeder freien Absicht, an deren Stelle eine andere hätte gefaßt werden können, endlich als unbewußtes Wirken im Gegensatz zu allen geistigen Thätigkeiten.

In den letzteren bemerkt man allerdings als die Grundlage aller bewußten Handlung ein uns unbewußtes Wirken in der Seele selbst, welches (wie man denn gewohnt ist, es der 'Natur der Seele' zuzuschreiben) mit zu den Gegenständen der Naturphilosophie gezogen werden kann. Allein in dem zweiten Sinn des Wortes, als Gesamtheit der durch jenes Wirken erzeugten Produkte, pflegt der Sprachgebrauch die Natur' nur als das Ganze der nicht bloß in der Zeit, sondern auch im Raume vorhandenen sinnlichen Erscheinungen zu fassen; und deshalb wird jener psychologische Bestandteil nur an der Grenze unserer Untersuchungen mit erwähnt werden.

§ 2.

Mit verschiedenen Auffassungsweisen hat der menschliche Geist nach und nach der Natur gegenüber gestanden [vergl. Mikrokosmus I 3. III 185].

Zuerst versuchte er in der Mythologie alle Naturerscheinungen auf ein Inneres zurückzuführen, welches ihm allein unmittelbar ver-

traut war: auf persönliches geistiges Leben. Denn der Begriff eines bloß seienden, unbewußten, blind wirkenden Dinges ist keiner der ersten und natürlichsten in unserer Bildung, sondern durch Negationen entstanden, durch die man den Begriff eines wirksamen 'Ich' umwandelte. Die Mythologie faßt daher die Natur nicht als ein Ganzes, das auf eigenen Principien ruhe und eigenen Gesetzen folge, sondern als Produkt des Zusammenwirkens unzähliger, nicht immer harmonisch zusammen wirkender geistiger Thätigkeiten; und im Einzelnen erklärt sie häufig Thatsachen durch anekdotische Geschichten von Vorfällen in diesem Geisterreiche, von denen jene Thatsachen als sonderbare Denkmäler zurückgeblieben seien.

Trotz dieser Vergeistigung der Natur im Großen mußte die Mythologie überall im Kleinen eine ursprüngliche Natur' der Sachen und allgemeine Gesetze ihres Wirkens voraussetzen, von denen sie zwar keine weiteren Worte machte, ohne die aber keine der geistig bedeutsamen Handlungen ausführbar gewesen wäre, die sie ihren Göttern zuschrieb. Apollo hätte nicht Pfeile, Jupiter nicht Blitze versenden, Helios nicht den Sonnenwagen führen können, wenn nicht aus jener Natur der Sachen die Bewegung der gespannten und losgelassenen Bogensehne, oder die Mitteilung der Bewegung von dem gehobenen Arme an den darin gehaltenen Blitz, endlich nicht die Umdrehung der Räder um die Achse ganz nach denselben mechanischen Gesetzen gefolgt wäre, nach denen sie auch im gemeinen Leben täglich erfolgt.

Die Mythologie scheiterte also in dem Beginnen, die Natur ganz zu vergeistigen. Sie wandte bloß ihre Aufmerksamkeit von dieser dunklen 'Natur der Sachen' ab, die sie gleichwohl in allen ihren Dichtungen voraussetzte.

§ 3.

Zur Naturphilosophie konnte sich die mythologische Ansicht nicht ausbilden, wohl aber eine zweite, dynamische oder organische, die an ihre Stelle trat.

Das Wirksame in der Natur war für sie nicht mehr ein persönlicher Geist mit wechselnden Absichten, sondern ein unpersönlicher, unbewußter konstanter Trieb, der die eigentümliche Natur jedes Wesens bilde und das Eine Motiv für alle veränderlichen Wirkungen und Entwicklungen dieses Wesens ausmache. Diese verschiedenen specifischen Triebe endlich der einzelnen Wesen dachte man sich systematisch aufeinander bezogen, so daß sie nur die verschiedenen Glieder einer Reihe bilden, in denen sich ein einziger allgemeiner Naturtrieb oder eine einzige Idee, zu deren Erscheinung die ganze Natur berufen ist, in mannigfaltigen, zu einander stimmenden Formen ausspricht.

Diese 'organische Naturansicht', die also die Natur als einen lebendigen Gesamtorganismus ansieht, vernachlässigt ebenso, wie die Mythologie, einen großen Bestandteil der Wirklichkeit; nämlich alle die Vorgänge, die aus unsern veränderlichen menschlichen Absichten entspringen und die doch als Bewegungen von Massen, die sich in ihren weiteren Nachwirkungen sehr mannigfaltig komplizieren können, nach ihrem Entstehen mit zu dem Ganzen des vorhandenen Naturlaufes, gleichwohl aber (weil keine freiwilligen, organischen, vorgesehenen Entwicklungen der Natur) durchaus nicht in den durch eine Idee vorgezeichneten 'Plan' derselben gehören.

Da nun aber dieses künstliche, technisch veranlaßte Geschehen doch an den Elementen der Natur stattfindet, so drängt sich nun die Notwendigkeit auf, vor allem die allgemeinen Gesetze aufzusuchen, nach denen alles an den Naturelementen mögliche Geschehen zustande kommt, sowohl dasjenige, welches man als die eigene organische Entwicklung des Naturplans, als auch dasjenige, welches man als 'zufällig' dazwischen tretendes, 'künstlich' veranlaßtes Ereignis anzusehen hat.

§ 4.

Aus dieser Erwägung geht die letzte, gegenwärtig herrschende Naturauffassung hervor. Wir nennen sie die mechanische, nicht in dem engeren Sinne dieses Wortes, in welchem dasselbe jede von

einem Element A zu einem andern Z nur durch eine Zwischenkonstruktion, eine Maschinerie, ein Werkzeug übergehende Wirkung im Gegensatz zu der unmittelbaren bezeichnet, die z. B. schon in der chemischen Aktion der Körper aufeinander stattfindet, sondern in dem weiteren Sinne, nach welchem 'Mechanismus' eine Art des Entstehens, Bestehens und Vergehens von Naturvorgängen bedeutet dergestalt, daß alles, was entsteht, das notwendige Erzeugnis des Zusammenwirkens von konstanten Elementen ist, die aufeinander immer nach demselben allgemeinen Gesetz wirken und verschiedene Erzeugnisse nur durch die Verschiedenheit ihrer Kombination und der äußeren Bedingungen hervorbringen, unter denen sie zur Wechselwirkung gelangen.

Es liegt nicht in den notwendigen Konsequenzen dieser Ansicht, so, wie es bisweilen geschieht, alle Naturvorgänge lediglich als das Produkt vorangegangener Bedingungen anzusehen, die nach allgemeinen Gesetzen wirken, dagegen das Eintreten oder Nichteintreten jener Bedingungen als völlig zufällig zu betrachten und so jede Bedeutung einer 'ordnenden Idee' oder eines 'geistigen Princips' der Natur zu leugnen. Nur deswegen, weil eben auch jedes solche ideale Princip das Vorhandensein dieser allgemeinen gesetzlichen Ordnung notwendig voraussetzt, ist die mechanische Auffassung die erste, von der wir ausgehen müssen.

Erstes Kapitel.

Allgemeinste Begriffe der Bewegung.

§ 5.

Man könnte die Naturvorgänge unter drei Rubriken bringen:

Zuerst ändern sich für unsre Empfindung beständig die qualitativen Eigenschaften der Dinge, die uns durch die Sinne bekannt werden.

Allein hinlänglich bekannt ist auch, daß diese Änderungen immer abhängen von [2)] irgend welchen Veränderungen, die in den

gegenseitigen Beziehungen verschiedener Körper stattfanden. Wir können daher nicht von jenen Qualitäten der Dinge, die wir subjektiv empfinden, sondern nur von den objektiven Veränderungen ausgehen, die zwischen ihnen selbst stattfinden. In Bezug auf diese aber setzen wir vorläufig ebenso wie die physikalische Mechanik die Richtigkeit der gemeinen Meinung voraus, nach der es einen unendlich ausgedehnten 'Raum' wirklich giebt und die Dinge in demselben veränderliche Orte einnehmen. Dann wird der nächste Gegenstand unserer Betrachtung nur in den Gesetzen bestehen, nach denen alle Bewegungen realer Elemente im Raume erfolgen.

Man könnte endlich drittens auch innere Vorgänge voraussetzen, die in den Dingen sich ebenso ereigneten wie in uns, also den veränderlichen Zuständen unseres Bewußtseins analog wären. Allein man begreift, daß diese Zustände niemals Objekte unmittelbarer Beobachtung werden können, daß man daher auch auf ihr Vorhandensein nur dann und insoweit schließen kann, als die zu ermittelnden Gesetze der Bewegung auf diese Annahme notwendig führen.

§ 6.

Die Beobachtung bietet uns immer nur ausgedehnte, aus verschiedenen teils wirklich gesonderten, teils doch unterscheidbaren Elementen bestehende Körper. Jede Bewegung, die einem solchen zukommt, wird entweder allen seinen kleinsten Teilchen gleichmäßig zukommen, oder das Resultat verschiedener Bewegungen sein, die diesen verschiedenen Teilen verschieden zukommen. In beiden Fällen wird man die Bewegung des ganzen Körpers nur begreifen, wenn man die Gesetze kennt, nach denen die Bewegungen der einfachsten Teile, d. h. der im Naturlaufe immer verbunden bleibenden Einheiten geschehen und sich miteinander verbinden.

Dies führt auf die Abstraktion eines 'Massenpunktes'. Von der Bewegung eines Raumpunktes nämlich kann nicht gesprochen werden. Nur das Reale ist beweglich, das, indem es seinen Ort verläßt, diesen als leeren Raumpunkt hinter sich läßt. Nun kann

allerdings kein Reales ohne Größe und bestimmte Qualität wirklich sein. Allein beide Eigenschaften können die allgemeinsten Gesetze der Bewegung nicht ändern, sondern können für jeden Einzelfall nur verschiedene Anwendungen derselben begründen. Man hat daher ein Recht, von ihnen zu abstrahieren und von dem bloßen Massenpunkt zu sprechen, der für sich isoliert freilich gar nicht, implicite aber als Bestandteil aller wirklichen Körper existiert.

§ 7.

Die bloß mathematische Betrachtung der Bewegungen, wie sie als 'Kinetik' der 'Mechanik' vorangeschickt zu werden pflegt, interessiert uns hier nicht, sondern nur die Art, wie in Wirklichkeit Bewegungen entstehen, dauern, sich ändern und aufgehoben werden.

Denken wir uns nun einen einzigen Massenpunkt, ruhend in einem unendlichen leeren Raum, so ist es wegen der völligen Gleichartigkeit aller Raumpunkte unmöglich, daß dieser Massenpunkt sich von selbst in Bewegung setze. Denn es würde, wie man gewöhnlich sagt, keinen Grund geben, warum er nach der einen Richtung mehr als nach jeder andern sich bewegen sollte. Man kann dagegen nicht einwenden, daß entweder in dem Raum sich uns Unbekanntes befinde, das einen Punkt vor den andern als Zielpunkt einer zu beginnenden Bewegung bevorzugte (denn in dem leeren Raum wissen wir vielmehr ganz bestimmt, daß sich nichts dergleichen findet), oder daß in der Natur des Massenpunktes uns unbekannte Gründe lägen, die ihn nötigten, die Richtung nach X und nach keinem andern Punkte einzuschlagen. Denn in dem bloßen Massenpunkt liegt schon seiner Definition nach eben kein solcher Grund. Wollten wir aber auch annehmen, diese Definition sei falsch und sie bedeute nur dann etwas, wenn man einen solchen Trieb, nach bestimmter Richtung X zu gehen, in sie mit aufnähme, so würde doch immer die Befriedigung dieses Triebes ganz unmöglich sein. Denn damit der Massenpunkt den Raumpunkt X auffinde, nach dem er sich sehnt, so müßte doch die Richtung nach X, um zu diesem Zweck einge-

schlagen zu werden, sich irgendwie von der Richtung nach Y oder Z unterscheiden. Da aber alle Raumpunkte gleich sind, so findet kein solcher Unterschied statt, und dieser Mangel kann natürlich nicht durch eine Ortsbestimmung des X nach irgend einem Koordinatensystem ergänzt werden; denn hierdurch wird ja die Lage eines Raumpunktes nur dann bestimmt, wenn die absolute Lage des Anfangspunktes dieses Systems unzweideutig angebbar ist. Dies aber ist immer nur möglich durch Beziehung auf einen Raumpunkt, welcher der Ort eines Realen ist, im leeren Raum dagegen nicht. Folglich kann ein isolierter Massenpunkt, der im leeren Raum ruht, durch sich selbst nie in Bewegung geraten.

§ 8.

Wenn in einem Massenpunkte auf noch unbekannte Weise eine Bewegung entstanden ist, so hat die frühere Zeit, durch unpassende Analogien [die eigene Körperbewegung des Menschen ꝛc.] verleitet, für natürlich gehalten, daß die Bewegung von selbst mit der Zeit erlischt. Seit Galilei und Newton gilt dagegen teils als selbstverständlich die ewige Fortdauer der einmal vorhandenen Bewegung, teils hat man diesen Satz aus den Erfahrungen abgeleitet, daß jede Bewegung desto länger dauert, wenn die Widerstände vermindert werden, also ewig, wenn diese ganz fehlen.

Es ist nicht möglich, diesen 'Satz der Beharrung' aus irgend einem höheren, metaphysischen Gesichtspunkte zu deducieren. Es würde auch nicht hinreichen zu sagen: solange wir von einem bewegten Massenpunkt sprechen, liege es eben in dem Begriff desselben, bewegt zu sein; denn es handelt sich hier darum, ob eben sachlich diese Definition einem Massenpunkt immer zukommt, wenn sie ihm einmal zukam. Man kann nur apagogisch nachweisen, daß die Annahme eines allmählichen Aufhörens der Bewegung ganz undenkbar ist. Denn abgesehen davon, daß dieser Gedanke ganz unvollständig ist, weil sich gar nicht würde zeigen lassen, nach welchem Maßstabe der bloße Zeitverlauf die Bewegung aufzehrte, so enthält er ja die

Annahme, daß in jedem Augenblick ein Teil der früheren Bewegung unaufgezehrt bleibt. Für diesen also wird stillschweigend das Gesetz der Beharrung als principaliter gültig vorausgesetzt, so daß nun deutlich der Abbruch an seiner Gültigkeit, der dennoch in Wirklichkeit stattfindet, auf entgegengesetzt wirkende Hindernisse zu schieben ist.

§ 9.

Auf andere Weise läßt sich dies so darstellen: Nehmen wir an, der Grund, der eine Bewegung erzeugt, liege immer in irgend einer Beziehung zwischen dem bewegten Massenpunkt und irgend einem andern realen Element, und diese Beziehung heiße y. Nehmen wir dann an, y bringe eine Wirkung v hervor, die während einer unendlich kleinen Zeitstrecke dt gleichbleibt. Durch diese Wirkung aber werde die Beziehung y geändert, gehe in y' über und erzeuge als solche die Wirkung v', die wieder während dt gleichbleibt, u. s. w. So würde, solange dt eine wenn auch noch so kleine Zeit strecke bedeutet, die Summe dieser Wirkungen $v\,dt + v'\,dt + \cdots$ in endlicher Zeit eine endliche Wirkung, hier also das Durchlaufen eines Raumes s von bestimmter endlicher Größe bilden. Dächte man sich dagegen dt als einen bloßen Zeitpunkt, dessen Dauer null ist, so würde nicht bloß diese Summe null, sondern es würde gar nicht zu dieser Summe kommen, weil y, indem es auch nur Miene macht in y' überzugehen, eben dadurch aufhört y zu sein und die Wirkung v hervorzubringen, von der dann die nächste v' abhängen müßte. Das heißt, allgemein ausgedrückt: es kann niemals zu einem Geschehen irgend welcher Art kommen, wenn die Ursache, die ein solches hervorbringen soll, nicht beständig nachwirkt, wenn vielmehr der Erfolg in dem Augenblick wieder verschwände, in welchem durch sein Hervorbringen jene Ursache selbst aufhört sich gleich zu sein und in eine andre übergeht.

Wir können also sagen: entweder es giebt gar keine Bewegung, oder, wenn es eine giebt, so liegt nicht bloß in ihrem logischen Be-

griff, sondern auch in ihrer physischen Natur das Gesetz der Beharrung ganz notwendig.

§ 10.

Zwischen der leeren Zeit und der Raumstrecke, die durch Bewegung durchlaufen wird, findet kein konstantes Verhältnis statt, sodaß gleiche Zeiten zu gleichen Räumen verbraucht würden. Vielmehr unterscheiden sich die Bewegungen durch ihre Geschwindigkeiten, d. h. durch die größeren oder geringeren Räume, die sie in gleichen Zeiten durchlaufen.

Bei dieser Vergleichung setzen wir nun voraus, daß es Bewegungen giebt, die in allen gleichen Zeitteilchen gleiche Raumelemente durchlaufen, und glauben diese Bewegungen gerade in denen zu finden, die, ohne weiter dem Einfluß besonderer Kräfte zu unterliegen, bloß nach dem 'Gesetz der Beharrung' fortdauern. Deswegen drücken wir dieses nun so aus: daß jede einmal angefangene Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit und geradlinig fortdaure, bis andere Bedingungen sie ändern.

Genau genommen, läßt sich durch Erfahrung diese Annahme, es gebe solche Bewegungen, niemals verificieren. Denn wenn wir auch die Gleichheit durchlaufener Raumelemente nachmessen können, so haben wir doch zur Messung der Zeitelemente, die sie gebraucht haben, durchaus kein unabhängiges Maß. Der Gedanke also von diesen 'gleichförmigen Bewegungen' wird von uns nur als durch seine Denkeinfachheit empfohlen festgehalten.

Innerhalb dieser Gleichförmigkeit unterscheiden sich die Bewegungen durch ihre Geschwindigkeit, welche als eine bestimmte Intensität des Bestrebens zur Veränderung des Ortes in jedem unteilbaren Augenblicke als vorhanden in dem bewegten Massenpunkt anzusehen ist, gemessen aber nur durch den Erfolg wird, den sie in bestimmter Zeit gehabt hat oder haben wird, d. h. durch den Raum $s = ct$, welcher die Geschwindigkeit c selbst bedeutet, wenn t die Zeiteinheit ist. —

Es bleibt in diesem Gesetz der Beharrung' eine gewisse Para-

doxie. Da kein Punkt sich von selbst in Bewegung setzt, so muß, allgemein ausgedrückt, die Ursache jeder Bewegung in einer Beziehung zweier realen Elemente zu einander liegen, welche nicht im Einklang mit der augenblicklichen räumlichen Stellung der Elemente zu einander ist und welche folglich eine bestimmte neue Stellung derselben verlangt. Dieser (wenn man so sagen will) Zweck der Bewegungserzeugung wird nun unmittelbar niemals erreicht: keine bewegende Kraft ist unmittelbar eine ortbestimmende, sondern jede nur eine Geschwindigkeit erzeugende; und anstatt einen bestimmten Ort aufzusuchen, wird durch sie der bewegte Punkt bloß genötigt, in geradliniger Richtung jeden augenblicklich eingenommenen Ort wieder zu verlassen.

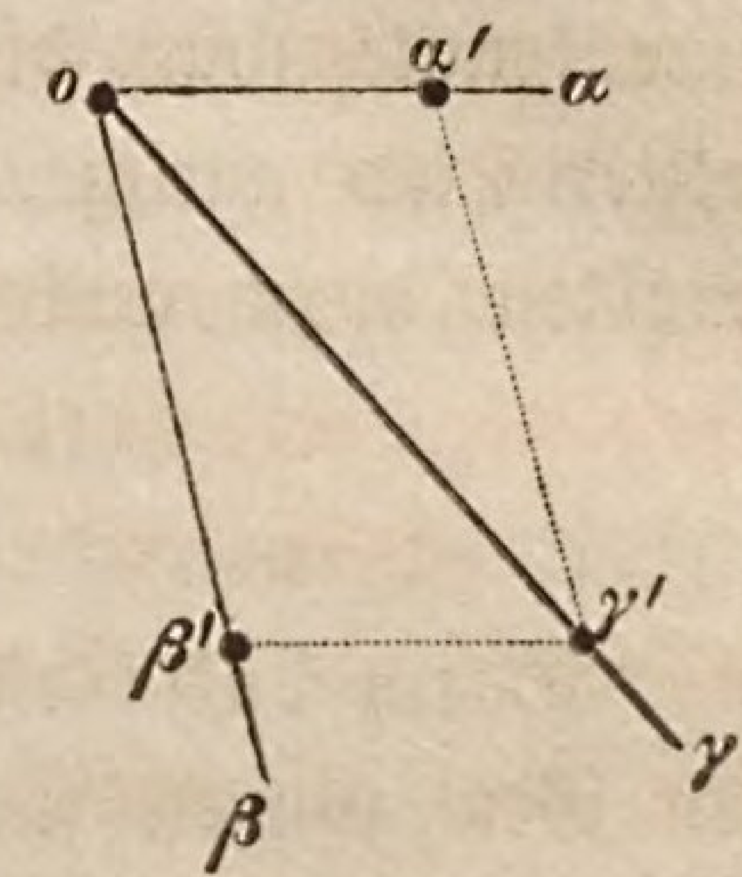
§ 11.

Wenn einem Massenpunkte gleichzeitig verschiedene Bewegungen mitgeteilt sind (abgesehen jetzt von dem Akt der 'Mitteilung'), so gilt das bekannte Gesetz, daß eine dritte Bewegung entsteht, welche nach Größe und Richtung durch die Diagonale des Parallelogramms aus jenen beiden Komponenten gemessen und mit konstanter Geschwindigkeit ausgeführt wird.

Die mannigfaltigen Beweisversuche hierfür pflegen von dem Specialfall zweier gleichen Kräfte auszugehen, wo es selbstverständlich sei, daß die Resultierende den Zwischenwinkel der Kräfte halbieren müsse, da kein Grund vorhanden sei, warum sie der einen von diesen näher liege, als der andern. Von hier geht man durch mannigfache Kunstgriffe zur Bestimmung der Länge der Resultante und zu der ihrer Lage bei ungleichen Kräften über.

Man kann jedoch, was in jenem Specialfall selbstverständlich schien, so verallgemeinern: Wenn zwei Bedingungen zusammenwirken und keine ihren Effekt allein hervorbringen kann, keine aber auch ohne Wirkung bleiben kann, so muß ein mittlerer Effekt entstehen, dessen Abweichungen von jenen einzelnen Effekten sich verhalten, wie die vergleichbaren Größen der Bedingungen, die diese Abweichungen hervorbringen. In Bezug auf unsern Fall: wenn ein

Massenpunkt durch eine Bedingung a in der Richtung von o nach α, durch eine andere b in der Richtung von o nach β getrieben wird, so muß er eine mittlere Bahn durchlaufen, deren Abstände von α und β sich umgekehrt verhalten wie a und b.



Dies würde geometrisch so zu deuten sein: Wenn α′ in der Richtung oα der Ort ist, den der Massenpunkt zur Zeit t durch die Kraft a allein erreicht hätte, β′ aber in der Richtung oβ der Ort des Punktes zur gleichen Zeit t vermöge der Kraft b allein, so würde der wirkliche Ort γ′ zur Zeit t durch beide Kräfte zusammen so liegen müssen, daß die Entfernung α′γ′ zu der Entfernung β′γ′ sich verhält wie b zu a. Es kommt aber ferner hinzu, daß keine dieser Kräfte irgend einen Grund hat, eine Ablenkung des Punktes nach einer andern Richtung hervorzubringen, als nach derjenigen, in welcher sie ihn selbst zu treiben sucht. Berücksichtigt man dies, so wird β′γ′ parallel oα′ laufen und α′γ′ parallel oβ′, wodurch γ′ von selbst der Endpunkt der Diagonale oγ′ des Parallelogramms oα′γ′β′ wird. Da dieselben Betrachtungen für jeden Bruchteil von t gelten, in welchem der Massenpunkt proportionale Teile seiner Wege α und β durchlaufen würde, so ist der geometrische Ort oder die Bahn, welche alle successiven Orte γ′ des Punktes enthält, jene Diagonale selbst, und man findet leicht, daß die Bewegung geradlinig und von konstanter Geschwindigkeit ist.

Man kann dies Resultat auch so ausdrücken: daß der Massenpunkt, wenn er in einer Zeiteinheit dem Antrieb vieler [z. B. m] Kräfte zugleich unterliegt, genau an denselben Punkt kommt, den er erreicht haben würde, wenn er in ebensovielen [m] Zeiteinheiten nacheinander dem Antrieb einer jeden dieser Kräfte einzeln je eine Zeiteinheit lang gefolgt wäre. Oder endlich: die Bewegungen setzen sich so zusammen, daß durch den Endeffekt jede der bewegenden Kräfte vollständig befriedigt wird und nichts von allen Bewegungen verloren geht.

In dieser letzten Fassung kann man glauben, das eigentliche vernünftige Princip gefunden zu haben, durch welches das 'Gesetz der Zusammensetzung der Bewegungen' nicht nur faktisch richtig formuliert, sondern seinem eigentlichen Sinne nach ausgedrückt wird. Nur konnte man diesen an sich überredenden Gedanken nicht ohne weiteres als gültig annehmen, bevor er zunächst in Bezug auf dieses Problem durch anderweitige Überlegungen begründet wurde.

§ 12.

Durch das Gesetz der Beharrung und das der Zusammensetzung der Bewegungen sind die Mittel gegeben, um den Verlauf jeder Bewegung zu beurteilen. Von den unzähligen Anwendungen beider mag hier nur die eine Konsequenz erwähnt sein, daß keine krummlinige Bewegung die Folge einer einfachen oder eines nur momentanen Zusammenwirkens vieler Bewegungsbedingungen sein könnte; jede setzt vielmehr die stetig fortdauernde Einwirkung konstanter oder veränderlicher Bewegungsbedingungen voraus, durch welche der nach dem Beharrungsgesetz notwendige geradlinige Fortschritt in der Tangente modificiert wird. Ebenso kann keine Bewegung mit veränderlicher Geschwindigkeit, z. B. mit stetig beschleunigter, anders als unter dem Fortwirken von Bedingungen entstehen, die in jedem Augenblick neue Geschwindigkeiten in irgend einer Richtung erzeugen. Dies weiter zu verfolgen, ist bloß Sache der rechnenden Mechanik.

Zweites Kapitel.

Von dem Begriff der bewegenden Kraft.

§ 13.

Bisher galt uns die Bewegung als bereits vorhanden und als erzeugende Ursache der Bewegung desselben Massenpunkts im nächsten Augenblick. Es fragt sich jetzt, wie sie in einem Massenpunkt entstehen kann, der vorher in Ruhe war.

Die Beobachtung der gewöhnlichsten täglichen Vorkommnisse hat uns gewöhnt, die einfachste Ursache der Bewegungserzeugung in der 'Mitteilung' einer in dem Element A schon vorhandenen Bewegung auf ein zweites, ruhendes Element B zu betrachten und zugleich diesen anschaulich ganz deutlichen Vorgang auch begrifflich als völlig selbstverständlich anzusehen; so daß die frühere Physik alle Naturwirkungen zuletzt auf das Ereignis des Stoßes zurückführte und die neueste Zeit wieder auf diesen Weg einlenkt.

Wir müssen jedoch behaupten, daß die Vorstellung der 'Mitteilung' oder richtiger der Übertragung der Bewegung von A auf B eigentlich nur das Resultat bezeichnet, welches nach der Ausführung des Stoßes vorhanden ist, dagegen gar nicht die Art ausdrücken kann, wie dies Ergebnis zu stande kam. Denn Bewegung, wie man sie auch sonst definieren mag, ist jedenfalls kein Ding x in dem Element A, sondern ein Zustand dieses A; und A ist in Bewegung, sofern dieser Zustand in ihm besteht. Mithin kann die Bewegung sich nicht loslösen von dem A, dessen Zustand sie ist, kann nicht einen, wenn auch unendlich kleinen Augenblick zwischen A und B selbständig existieren, und endlich: wenn sie nun selbst an den Raumort gelangte, an dem sich B befindet, so bleibt ganz undenkbar, warum sie nun wieder zum Zustand dieses B werden, also B in Bewegung setzen könnte. Vielmehr kann der Bewegungszustand x in dem A begreiflich nur durch eine gleiche und entgegengesetzte Bewegung — x desselben A aufgehoben werden; und da diese Aufhebung durch B veranlaßt sein muß, B aber dabei selbst nicht in Bewegung zu sein braucht, sondern auch ruhen kann, so muß, damit eine Mitteilung von Bewegung überhaupt denkbar sei, zuerst zugegeben werden, daß es eine unmittelbare Einwirkung des A auf B oder des B auf A muß geben können, durch welche eine vorher gar nicht vorhandene Geschwindigkeit durch das B in dem A (oder umgekehrt) erzeugt wird, d. h. es muß bewegende Kräfte geben.

Außerdem pflegt man nach Anleitung der Erfahrung die Mit-

teilung der Bewegung an die Bedingung der Berührung zu knüpfen und als ihren Grund anzuführen, daß selbstverständlich zwei Massenpunkte nicht in demselben Raumpunkte sein könnten. Aber dieser Grund reicht nicht hin; denn selbst wenn er gilt, bleibt noch ganz unentschieden, was denn dann positiv geschehen wird, wenn zwei Elemente A und B sich in Bewegungen befinden, die zu diesem unmöglichen Zusammensein in Einem Punkte führen müßten. Daß A und B dann nicht etwa beide in Ruhe bleiben in zwei benachbarten Raumpunkten, sondern daß sie ihre Bewegungen teilweise austauschen, ist nicht die selbstverständliche Folge jener bloßen Unverträglichkeit an demselben Ort, sondern der Ausdruck einer zurückstoßenden Kraft, die A und B dann ausüben.

§ 14.

Der hier eingeführte Begriff der 'Kraft' bedarf zuerst einer allgemeinen logischen Kritik der sehr falschen Vorstellungen, die man mit ihm zu verbinden pflegt.

Es ist zunächst ganz roh, die Kraft 'die unbekannte Ursache der Erscheinungen' zu nennen. Man würde begreiflich sagen müssen, jede Kraft sei eine unbekannte Ursache einer bestimmten Klasse von Veränderungen einer bestimmten Gruppe von Erscheinungen. Aber auch hierin würde der Begriff der 'Ursache' schlecht angebracht sein. Denn 'Ursache' ist etymologisch das Ding, dessen Dasein man voraussetzen muß, um irgend eine Wirkung zu begreifen. Nennt man daher die Kraft so, so verknüpft sich damit der Ungedanke, sie sei selbst etwas Dinghaftes und trennbar von dem Träger, dem man sie zuschreibt. Damit aber beginnt die Frage von neuem, die man beantworten wollte, nämlich: wie dieses feinere Ding es anfängt, seine Wirkung hervorzubringen; und man würde eine zweite Kraft anzunehmen versucht sein, deren Träger jene erste wäre.

Vermeiden wir daher dies falsche Wort und sagen: die 'Kraft' eines Elements M ist der Grund, um deswillen M eine bestimmte

Wirkung w hervorbringt. Und dieser 'Grund' ist von der Natur des M gerade so untrennbar, als etwa die Kraft der Zahl 2, durch Multiplikation mit jeder ganzen Zahl eine gerade Zahl hervorzubringen, von der Natur der 2 untrennbar ist.

§ 15.

Man könnte nun die Kraft als Eigenschaft des M bezeichnen. Allein wenn dieses Wort etwas Genaues sagen soll, so muß es ein Prädikat bedeuten, welches dem M immer und unter allen Umständen zukommt. Von jeder Kraft aber wissen wir, daß sie nicht immer überhaupt, und daß sie unter verschiedenen Bedingungen mit verschiedener Größe ausgeübt wird. Folglich könnte doch nicht sie selbst Eigenschaft des M sein, sondern nur in M ein andres, vielleicht nicht ausdrückbares Prädikat seiner Natur vorkommen, aus welchem die Möglichkeit und Notwendigkeit der Kraft, d. h. des veränderlichen Wirkens unter veränderlichen Bedingungen, erst hervorginge. Mithin würde jede Kraft die Folge einer Eigenschaft des M, aber nicht selbst diese Eigenschaft sein.

§ 16.

Es kommt hinzu, daß wir, zunächst wenigstens, von einer Kraft, die nicht wirkt, zu sprechen weder Veranlassung noch Recht haben. Wirken aber kann die Kraft eines Elements M nur dann, wenn ein zweites Element N vorhanden ist, an dem Zustände geändert werden können. Und zwar richtet sich dann die Art und Größe der Wirkung nicht bloß nach der Natur von M, sondern auch nach der von N; und da sie eine Wirkung sein soll, die in irgend einer Zeit erst geschieht, nicht aber in Ewigkeit ausgeübt wird, so muß sie auch von der veränderlichen Beziehung c abhängen, die zwischen M und N stattfindet.

Das heißt also: der Grund, um deswillen M eine Wirkung hervorbringt, oder die sogenannte 'Kraft' des M liegt niemals in dem M allein, sondern zugleich in dem N und der Beziehung c.

Man kann daher niemals die Kraft als etwas Selbständiges, Fertiges und in dem Element M bereits Vorhandenes ansehen, sondern der Name einer bestimmten Kraft bedeutet bloß die Fähigkeit und Nötigung zu einer bestimmten Art und Größe irgend einer Leistung, welche in einem Element M unter bestimmten Bedingungen und in Bezug auf ein zweites Element N eintreten wird. Diese in Zukunft bevorstehende Notwendigkeit datiert man gewissermaßen zurück und betrachtet sie als etwas in dem M auf dann allerdings unangebbare Weise bereits Vorhandenes.

§ 17.

Solange man nur die bestimmte Wirkung beachtet, die ein bestimmtes Element unter ebenso bestimmten Bedingungen hat, würde es etwas müßig sein, ihm eine 'Kraft' zuzuschreiben; man würde damit nur das Selbstverständliche ausdrücken, daß es das können muß, was es wirklich thut. In der That aber vergleicht man immer die Wirkungen, die das Element unter der Bedingung c hat, mit den anderen, die es unter c′ oder c″ haben würde. Das, was hierin gemeinsam ist, und zugleich das Gesetz, nach welchem diese verschiedenen Wirkungen von den verschiedenen Bedingungen abhängen, das bildet die konstante Handlungsweise, die man unter dem Namen 'Kraft' dem Element zuschreibt. Niemals wird daher dieser Name in den Naturwissenschaften eher gebraucht, bis man außer der gleichbleibenden *allgemeinen Form* einer Wirkung auch noch die *Regel* kennt, der gemäß sich dieselbe nach den verschiedenen Umständen *ändert*.

Fügen wir dies hinzu, so bedeutet der Satz »das Element M habe die Kraft P«: so sei der Naturzusammenhang geordnet, daß, wenn M in veränderliche Beziehungen c, c′, c″ . . . zu einem andern Element N tritt, dann zwischen beiden eine Wirkung entstehe, die sich so ansehen läßt, als trüge zu ihr das M gemäß den veränderlichen Beziehungen c, c′, c″ . . . resp. P, P′, P″ . . . bei. Woraus also erhellt, daß der Name der 'Kraft' hier nur eine *Art Rechnungs*-

figur ist und etwas sachlich in den Elementen Vorhandenes nicht bedeutet.

§ 18.

Die Naturwissenschaften bedienen sich nichtsdestoweniger der kürzeren Ausdrucksweise, einem Element M eine bestimmte Kraft P ein für allemal zuzuschreiben. Die Ungenauigkeiten dieser Redeweise werden aber durch die Praxis ausgeglichen. Man spekuliert niemals über eine Kraft, welche nicht wirkt, sondern nur über die, welche wirkt. Dann aber müssen natürlich allemal die Beziehungspunkte genau in Betracht gezogen werden, die man im allgemeinen Ausdruck wegläßt: es muß immer ein zweites Element N da sein, an dem sich die Kraft des M äußert; zwischen M und N muß immer eine bestimmte Beziehung c stattfinden, nach der sich die Wirkung der Kraft richtet. Durch diese und andere Ergänzungen korrigiert man also den ungenauen Gedanken, eine Kraft P könne ein für allemal einem einzigen Element M fertig inhärieren, und gesteht so zu, daß jedes P nur die Fähigkeit zu einer Leistung sei, die dem Element M erst unter bestimmten Bedingungen c entsteht, außerdem aber gar nicht vorhanden ist.

Allein nach anderer Seite hin erweckt diese sonst exakte Praxis der Physik Bedenken. Die Aufgabe der Physik selbst beschränkt sich darauf, aus gegebenen Datis die Folge vorher zu berechnen, die aus ihnen entstehen muß, oder die Ursachen zu erraten, die zu ihnen geführt haben. Zu diesem Zweck reicht es vollkommen hin, auf irgend eine Weise die allgemeinen Gesetze zu finden, nach denen sich thatsächlich der Zusammenhang früherer Erscheinungen mit späteren richtet. Dagegen ist es gar nicht notwendig, auch noch zu wissen, durch welchen sozusagen inneren Hergang die Natur der Dinge selbst es anfängt, die erscheinenden Vorgänge so zu verknüpfen, daß ihr Zusammenhang jenen empirisch gefundenen Gesetzen entspricht. Gerade dies aber ist die Aufgabe, die der Naturphilosophie als solcher zufällt; und wenn wir von diesem Gesichtspunkte aus die physikalische Praxis und die in ihr üblichen Grund-

vorstellungen der bewegenden Kräfte durchgehen, werden wir manche unentscheidbare Rätsel finden.

§ 19.

Innere Zustände, die man den realen Elementen zutrauen könnte, entziehen sich der Beobachtung. Es bleiben nur die Bewegungswirkungen übrig, deren Gesetze den Gegenstand der Naturwissenschaft bilden können. Hieraus entsteht die Gewohnheit, die Elemente selbst als bloße Anknüpfungspunkte für bewegende Kräfte anzusehen und zwar im allgemeinen zuzugeben, daß diese Kräfte von der unbekannten Natur der Elemente abhängen, so aber, daß man nicht nötig habe, um sie zu verstehen, auf veränderliche innere Zustände der Elemente zurückzugehen.

Diese Ansicht können wir nicht teilen und können dies am einfachsten begründen mit Hinsicht darauf, daß ganz allgemein die Intensität einer zwischen zwei von einander entfernten Elementen wirksamen Kraft als abhängig von der Entfernung derselben betrachtet wird.

§ 20.

Wenn wir hierüber Zweifel erregen, so ist unsre Absicht nicht etwa zu erfahren, wie und durch welche Veranstaltungen es eine Kraft dahin bringt, ihre Wirkungen zu erzeugen. Denn eine sehr leichte Überlegung lehrt, daß nicht alle Wirkungen in der Welt zu den vermittelten gehören können, welche durch irgend eine angebbare Zwischenmaschinerie von dem einen Element auf das andere übergehen. Würden doch dann alle einzelnen Teile dieser Maschinerie selbst wieder, um auf einander zu wirken, neue Zwischenmittel bedürfen, und so ins unendliche. Es muß also unmittelbare Wirkungen geben, die sofort eintreten, wenn ihre Bedingungen gegeben sind, und über deren Hergang man keine Beschreibung geben kann und zwar deswegen, weil kein solcher aus mehreren Gliedern bestehender, also beschreibbarer Hergang existiert.

Dagegen muß jede Vorstellung, die wir uns physikalisch er-

lauben, vollständig gedacht werden, d. h. es müssen alle die Bedingungen als erfüllt zugestanden werden, ohne welche das nicht denkbar ist, was wir mit jener Vorstellung meinen. In diesem Sinn ist zu zeigen, daß ohne die Voraussetzung veränderlicher innerer Zustände der Elemente die variabeln Wirkungen ihrer Kräfte unter verschiedenen äußeren Bedingungen undenkbar sind.

§ 21.

Wenn nun die Elemente M und N in der Entfernung e″ anders aufeinander wirken sollen, als in der Entfernung e′, so ist notwendig, daß die Verschiedenheit dieser beiden Fälle nicht nur uns bemerklich wird, die wir durch unsre Sinne und unsre Raumanschauung die Differenz e″—e′ beobachten und messen können; vielmehr muß die Thatsache, daß diese Differenz vorhanden sei, den Elementen M und N selbst merkbar werden. Denn wenn sie in beiden Fällen sich ganz und gar in denselben Zuständen befänden, so würde es nach dem Gesetz der Identität undenkbar sein, daß sie in dem einen sich anders verhielten, als in dem andern.

Nun kann aber dieses Merkbarwerden der Differenz nicht darin bestehen, daß bei der Entfernung e′ das M sich an dem Orte m′, das N in n′, dagegen bei e″ das M in m″, das N in n″ befände. Denn die bloßen leeren Raumpunkte sind einer dem andern gleich; und die Elemente würden ihr eigenes Sichbefinden an dem einen von ihrem Vorhandensein an dem andern auf keine Weise unterscheiden können, wenn sie nicht, sofern sie an dem einen Punkte sind, sich in einem andern innern Zustand befänden, als sofern sie an einem andern Orte sind.

Da nun die leeren Orte selbst diese verschiedenen inneren Zustände nicht begründen können, so bleibt nur die Annahme übrig, daß M und N unmittelbar aufeinander wirken und von einander leiden, und zwar nicht infolge ihrer momentanen Entfernung, sondern so, daß diese Entfernung selbst nur der erscheinende Ausdruck dieser innern Wechselwirkung ist und die nun folgende Bewe-

gung die Konsequenz einer Notwendigkeit, mit der diese inneren Zustände sich in bestimmter Weise abändern.

§ 22.

Das Vorige kann man auf den Satz zurückbringen: wenn verschiedene Bedingungen dasselbe Element zu verschiedenen Wirkungen bestimmen sollen, so müssen vor allem diese Bedingungen nicht bloß bestehen, sondern selbst auf das Element wirken. Man kann umgekehrt auch behaupten: wenn verschiedene Bedingungen auf dasselbe Element wirken, so können sie unmöglich denselben Gesamteffekt haben.

Hierher gehört der Fall, daß verschiedene Kräfte gleich groß, aber entgegengesetzt auf dasselbe Substrat wirken. Drücken z. B. die Kräfte P und — P eine ausgedehnte cylindrische Masse in der Richtung der Achse an ihren beiden Enden, so wird der Cylinder unzweifelhaft sich verkürzen. Aber die innern Repulsionen der Teilchen werden der weiteren Verkürzung bei einem bestimmten Maß derselben entgegenwirken. Der so verkürzte Cylinder wird seinem bloßen Aussehn nach ganz einem von Anfang an kürzeren gleichen. Man weiß von ihm bloß, daß er unter einem bestimmten Drucke steht und daß nach dem Wegfall von P und — P er sich wieder ausdehnen wird. Wodurch aber unterscheidet er sich, solange er sich nicht ausdehnt, von jenem von Anfang an kürzeren? Man antwortet darauf wohl: eben dadurch, daß zwischen seinen Teilchen Repulsionskräfte wirken in größerer Stärke, als später in dem freigelassenen, daß aber diese Kräfte durch P und — P an jedem bewegenden Effekte gehindert werden. Allein damit ist noch gar nicht gesagt, was denn eigentlich Thatsächliches und Reelles in dem gedrückten Cylinder geschieht, das ihn von dem nicht gedrückten unterschiede. Denn zwei Kräfte, die sich zu Null aufheben, können nur bedeuten, daß eben gar nichts geschieht; und der gedrückte Cylinder würde sich von einem nicht gedrückten folglich durch nichts unterscheiden, wenn nicht an die Stelle des hier mangelnden Bewegungs-

effektes ein innerer Zustand jedes seiner kleinsten Teilchen träte, der in dem gedrückten anders ist, als in dem freien, und der eben den Grund bildet, welcher nach dem Aufhören des Druckes die jetzt zu Tage kommenden Bewegungen hervorbringt.

Die Sache wird noch deutlicher, wenn man P und —P auf einen unteilbaren Massenpunkt wirken läßt: er bleibt immer in Ruhe; aber unmöglich kann man annehmen, daß es gar keinen Unterschied mache, ob zwei große oder zwei kleine Kräfte ihn angreifen. Da also die Bewegungswirkung fehlt, so muß ein Unterschied der innern Zustände vorhanden sein.

§ 23.

Wenn man einem und demselben Element M gleichzeitig verschiedene Kräfte zuschreibt, so ist dies in den meisten Fällen kein Widerspruch gegen die vorausgesetzte Einheit des M. Denn die Kräfte P, Q, R sieht man nicht als fertige, dem M beständig und zwar ohne Zusammenhang unter einander inhärierende Prädikate an; sie entstehen vielmehr erst, wenn die immer sich selbst identische Natur des M in Beziehung zu andern Elementen X, Y, Z tritt. Aus M + X (wo + bedeutet: irgend eine Beziehung zwischen M und X) kann dann die Wirkung P, aus M + Y dagegen Q, aus M + Z endlich R ohne Widerspruch folgen. Bedenklicher würde es sein, dem M in Beziehung auf dasselbe X entgegengesetzte Wirkungen zuzuschreiben, wie es z. B. in der gewöhnlichen Redeweise geschieht, wenn man allen materiellen Elementen einerseits Attraktion gegen einander, anderseits Undurchdringlichkeit, d. h. Repulsion zuschreibt.

Man hat diese Häufung entgegengesetzter Prädikate zu vermeiden gesucht, indem man den ponderabeln Elementen bloß Attraktion, den umgebenden imponderabeln Hüllen bloß Repulsion gegen einander, den letztern aber wieder Attraktion gegen die ponderabeln Stoffe zuschrieb. Man reicht jedoch hiermit nur aus, wenn man diese drei Kräfte nach verschiedenen Funktionen der Entfernung abnehmen läßt. Diese Annahme aber ist solange nicht

zu rechtfertigen, als man die Kräfte überhaupt als etwas irgendwie Selbständiges und von innern Zuständen der Massen Unabhängiges auch nur bildlich vorstellt. Denn dann ist zwar überhaupt nicht abzusehen, wie die Intensität der Kraft sich nach der Entfernung richten soll; wenn es aber einmal geschieht, so müßte es wenigstens bei allen Kräften nach demselben Gesetz geschehen. Legt man dagegen unsere Annahme zu Grunde, daß jeder Bewegungswirkung in den Elementen ein innerer Zustand als ihre Folge und zugleich als Grund für die Bewegungswirkung des nächsten Augenblicks entspricht, so kann man begreifen, daß die Intensität der Kraft, welche diese Fortsetzung der Wirkung hervorzubringen strebt, in jedem Augenblick sich ändern kann, und zwar je nach der eigentümlichen Natur der aufeinander wirkenden Elemente in sehr verschiedener Weise, sodaß die Intensität der Kräfte allerdings scheinbar an jede beliebige Funktion der Entfernung gebunden sein kann.

Hieraus würde folgen, daß wir jede solche Annahme eines Wirkungsgesetzes für zulässig erklären müssen, sobald sie den Erfahrungen entspricht; zugleich aber drückt sie niemals unmittelbar den wahren Hergang der Sache aus. Ebenso ist es für die Praxis zulässig, denselben zwei Elementen M und N zwei entgegengesetzte Kräfte zuzuschreiben. Man sieht dann diese beiden Kräfte als veränderliche Komponenten einer einzigen zwischen beiden wirksamen Kraft an, die sich selbst ändert, indem sie ihre Erfolge erreicht.

§ 24.

Wir haben stillschweigend vorausgesetzt, der Begriff einer ‘fernwirkenden Kraft’ sei möglich. Wenn man dem gegenüber geltend macht, ein Ding könne nur da wirken, wo es ist, so sagt man damit keineswegs etwas Selbstverständliches; denn wir haben gesehen, daß es eben nicht begreiflich ist, wie in der Berührung zweier Elemente die Bewegung des einen auf das andre übergehen könne oder müsse. Nur deswegen, weil alle im gewöhnlichen Leben von uns selbst zu erzeugenden Bewegungen an diese Bedingung der ‘Be-

rührung' gebunden sind, ist es uns eine familiäre Vorstellung, daß 'Berührung' zur Wirkung nötig sei. Es läßt sich aber leicht zeigen, daß umgekehrt Kräfte sich berührender Elemente keine Bewegung erzeugen können. Wirkliche Berührung z. B. zweier Kugeln bedeutet, daß ein Punkt des einen Elements an demselben Raumpunkt sei mit einem Punkt des andern. Nun können diese zwei zusammenfallenden Massenpunkte immerhin die intensivste Anziehung oder Abstoßung gegeneinander haben, aber eine Bewegung kann daraus nicht folgen. Sie können im ersten Fall nicht noch mehr ineinander hineinkriechen und im zweiten nicht voneinander loskommen, da keine Richtung, nach der sie sich trennen könnten, einen Vorzug vor allen andern Richtungen hat. Wenn die beiden Kugeln sich gleichwohl einander noch weiter nähern und einander plattdrücken, so geschieht das lediglich durch die Attraktion der Teile, die einander noch nicht berühren und zwischen denen also die Zwischendistanz die Richtung vorschreibt, in welcher die Attraktion zu wirken hat.

Folglich behaupten wir allgemein: Kräfte, die eine neue Bewegung erzeugen sollen, können nicht in der Berührung, sondern müssen aus der Ferne wirken.

§ 25.

Unter den verschiedenen Wirkungsgesetzen der Kräfte hat immer das der Gravitation, nach welchem die Intensität der Kraft mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt, das einfachste geschienen und hat viele Versuche veranlaßt, es als allgemeines Gesetz jeder Kraft nachzuweisen.

Gleichwohl ist der Gedanke, von dem man ausgeht, die sich vom Mittelpunkt ausbreitende Kraft müsse Kugelflächen beherrschen, die mit dem Quadrat der Entfernung wachsen, und deshalb selber in diesem Verhältnis abnehmen, ganz unhaltbar. Man kann weder die Kraft als ein ins Leere strömendes Fluidum ansehn, das auch strömte ohne ein Objekt zu finden, auf das es sich bezöge, noch wäre begreiflich, wie die Kraft, an einer dieser Kugelflächen ange-

langt, eine nach rückwärts gehende Bewegung, dem Centrum zu, hervorbringen und nicht vielmehr die vorgefundenen Elemente in der Richtung ihrer Strömung abstoßen sollte. Diese Vorstellungen hängen also gar nicht untereinander zusammen.

Man müßte die Kugeloberflächen ganz bei seite lassen und nur von der linearen Wirkung sprechen, die zwischen zwei Elementen entsteht; denn ganz irrtümlich hat die vorige Vorstellungsweise die Kraft als ausgehend bloß von dem einen Element A, das andere B aber, welches sie anträfe, als völlig passiv angenommen. In der That aber kann die Kraft, welche hier wirklich ausgeübt wird, nur durch das Produkt zweier Tendenzen gemessen werden, nämlich derjenigen Wirkung, welche A in B erzeugen würde, wenn B ganz passiv wäre, und der andern, welche B in A erzeugen würde, wenn A passiv wäre. Bezeichnen wir diese beiden Tendenzen, die für sich niemals Wirklichkeiten sind, mit $\frac{p}{e}$ und $\frac{q}{e}$ (worin p und q specifische Koefficienten sind, welche die von der Qualität des A und B abhängige Intensität ihres Wirkens bezeichnen), so ist $\frac{p\,q}{e^2}$ das Maß der wirklichen Kraft, die zwischen beiden stattfindet. Und es würde also dieses Gesetz darum gelten, weil für die (abstrakte und allein niemals wirkliche) Wirkungstendenz des einen Elements auf das passiv gedachte zweite das andere Gesetz gilt, daß ihre Größe einfach mit der Entfernung abnimmt. Und dieses Gesetz allerdings könnte man als das einfachste und natürlichste ansehen, wenn einmal die Größe der Kraft von der Entfernung abhängt.

§ 26.

Alle unsere Betrachtungen haben uns also die Annahme notwendig gemacht, daß alle realen Elemente der Natur solidarisch zu einem Ganzen verbunden sind, und daß in jedem Augenblick von jedem Element zu jedem andern, allerdings in unendlichen Abstufungen, ein innerer Zusammenhang gegenseitiger Wechselwirkung statt-

findet, welcher nicht durch die räumliche Entfernung der Elemente voneinander unterbrochen wird und nicht erst wirklich durch Kräfte, die diese Zwischenentfernungen zurücklegen, wiederhergestellt zu werden braucht, sondern der, um ein Gleichnis zu brauchen, als ein unmittelbarer sympathetischer Rapport der Elemente sozusagen hinter dem Rücken des Raumes besteht, und von dem in jedem Moment die gegenseitige räumliche Stellung der Elemente der Natur nur ein äußerer symbolischer Ausdruck für unsere Auffassung ist.

Diese innere Ordnung aller Elemente hat nicht den Charakter einer ruhenden unveränderlichen Klassifikation, sondern sie sind in beständiger Veränderung. Der daraus in jedem Augenblick entspringende innere Gesamtzustand Z eines Elements bildet den Grund, aus welchem sämtliche momentane Kräfte (d. h. Fähigkeiten und Nötigungen zu bestimmten Leistungen) entspringen, die dasselbe jetzt gegen andere ausübt. Es ist dabei eine natürliche Voraussetzung, daß dieses Z sich in eine Anzahl von Komponenten zerlegen läßt, deren jede einem eigentümlichen Gesetz ihrer Veränderungen gehorcht. Diese Komponenten kennen wir zwar selbst ebensowenig, wie jenen inneren Zustand Z; aber sie sind das, was wir in seinen bewegenden Effekten durch Beobachtung kennen lernen und unter dem Namen der bewegenden Kräfte zum Gegenstand der mechanischen Untersuchungen machen.

Drittes Kapitel.

Vom Begriff der Masse.

§ 27.

Bisher nahmen wir an, es gebe eine unbestimmte Menge vollständig gleichartiger und gleicher einfacher realer Elemente. Bleiben wir noch dabei und denken uns eine Anzahl n dieser Elemente zu einem Ganzen vereinigt und fragen nach der Wirkung, die dies Ganze auf ein außer ihm liegendes $(n+1)$tes Element ausübt. Auf welche Weise jene n zu einem Ganzen verbunden sind, lassen

wir als eine der allerschwierigsten Fragen vor der Hand bei seite und wollen nur wissen, wie dies Ganze, nachdem es da ist, wirken wird.

Nun sind zwei Möglichkeiten: Es können erstens die n Elemente durch ihre Vereinigung, die ohne Wechselwirkung undenkbar ist, in solche innere Zustände Z versetzt worden sein, daß jedes einzelne gegen das (n + 1)te Element nicht mehr die Wirkung p, die es für sich allein ausgeübt hätte, sondern eine andere p′ ausüben muß. Wenn diese Annahme sich bestätigt, erschwert sie natürlich die Berechnung der Naturerscheinungen außerordentlich.

Man ist daher immer geneigt, die zweite durchaus nicht allgemein notwendige, aber sehr günstige Annahme zu bevorzugen: die inneren Zustände Z der n vereinigten Elemente seien so, daß sie die Wirkungsweise derselben gegen das (n + 1)te nicht ändern. Dann wirkt also jedes der n auf das (n + 1)te so, als wären die andern (n — 1) nicht vorhanden; und ebenso setzt man ganz analog voraus, das (n + 1)te werde die Wirkung jedes von den n gerade so in sich aufnehmen, als würde es von den (n — 1) andern nicht beeinflußt.

Daraus folgt dann, daß die Gesamtwirkung eines Ganzen auf ein auswärtiges Element, folglich auch auf ein zweites Ganzes, also der Körper auf Körper aus den Einzelwirkungen aller ihrer Teile zusammengesetzt werden kann. Diese Voraussetzung herrscht in der Mechanik, die aber freilich bisher die Chemie ausgeschlossen und nur mit chemisch unveränderlichen Substraten gerechnet hat. ‘Masse’ eines Körpers heißt bis hierher: die Anzahl der gleichen und gleichartigen realen Elemente, die in ihm verbunden sind.

Dächten wir uns aber qualitativ ungleichartige Elemente, die aber doch aufeinander wirken und Bewegungen ineinander hervorbringen, so würden die ‘Massen’ derselben diejenigen Anzahlen gleichartiger realer Elemente bedeuten, welche man jenen ungleichartigen Elementen als äquivalent in Bezug auf die von ihnen abzuleitenden Bewegungen substituieren könnte, ohne daß damit ein

Präjudiz für das wirkliche Bestehen aller Massen aus denselben Urelementen gegeben wäre.

§ 28.

Man kann ferner fragen, ob zwei Systeme von Elementen, die in Bezug auf die Wirkungsweise V sich wie die Massen m und m′ verhalten, sich ebenso verhalten würden in Bezug auf eine andre Wirkungsweise W, d. h. also, ob z. B. dann, wenn wir elektrische Wirkungen als unmittelbare Äußerungen der Elemente ansehn wollten, die gegen einander Gravitation ausüben, zwei Körper, deren 'Massen' sich dem Gewicht nach wie m zu m′ verhielten, auch in demselben Verhältnis elektrische Kräfte ausübten. Es leuchtet von selbst ein, daß a priori gar kein Grund für die Notwendigkeit eines solchen Verhaltens vorliegt, das freilich, wenn es bestände, das einfachste aller denkbaren wäre.

In Wirklichkeit besteht es ohne Zweifel nicht. Und wenn man auch im Sprachgebrauch diese Vorstellung von einer Masse beibehält, die in Bezug auf alle Wirkungsarten V und W dieselbe konstante Größe besäße, so korrigiert man sich doch praktisch, indem man die in Bezug auf V bestimmten Massen m und m′, wenn sie für W gelten sollen, mit einem 'specifischen Koefficienten' k multipliziert. Diese Ausdrucksweise hat den richtigen Sinn, daß die beiden Körper, die sich in der Wirkungsform W aufeinander beziehen, ihre Wirkungen dieser Art in denselben relativen Intensitäten ausüben, mit welchen sie in der Form V thätig wären.

§ 29.

Unter 'Konstanz der Masse' versteht man zunächst, daß kein reales Element, das einmal vorhanden ist, aus der Welt verschwinden kann und keines neu entstehen. Über diesen Punkt behalten wir uns spätere Erörterungen vor.

Dann aber meint man zweitens damit auch eine qualitative Unveränderlichkeit der Elemente während aller der Wechselwirkungen, die sie aufeinander ausüben, und man pflegt deswegen sie

oder die Atome als bloße Anknüpfungspunkte, Träger oder Mittelpunkte bewegender Kräfte anzusehen. Daß dies logisch und metaphysisch ganz undenkbar ist, haben wir früher erwähnt und behaupten jetzt Folgendes:

Ein reales Element a ist so 'konstant' nicht, daß es immer $= a$ bliebe, während es verschiedene Wirkungen X oder Y erfährt oder ausübt; vielmehr unter dem Einfluß von X gerät es in einen inneren Zustand, in welchem es nicht mehr $= a$, sondern $= \alpha$ ist, und durch Y wird es zu α'. 'Konstant' dagegen kann man es in dem Sinne nennen, daß alle die Formen α, α', α'' . . ., die es unter verschiedenen Bedingungen annimmt, alle untereinander und mit a als eine geschlossene Reihe zusammenhängen, sodaß a niemals aus dieser Formenreihe heraus und in einen innern Gesamtzustand, etwa β''', übergeht, der in der ebenso geschlossenen Formenreihe eines ebenso veränderlichen Elements b vorkommt. — Erläutert wird dies durch ein Beispiel, von dem vorläufig fraglich bleibt, ob es genau hierher gehört: Quecksilber [a] läßt sich fest, flüssig und dampfförmig herstellen; aber welche Bedingungen man auch auf es einwirken läßt, so geht es aus dieser Reihe ihm möglicher Formen α, α', α'' . . . niemals über in Blei oder Silber in irgend einer der diesen Metallen möglichen Formen.

Ferner: wenn auf α die entgegengesetzte Bedingung $-X$ einwirkt, so entsteht daraus wieder a; wenn $-Y$ auf α' wirkt, so geht dies in α zurück. Und allgemein: wenn die Bedingungen, die irgend einen Übergang aus einem innern Zustand in den andern hervorgebracht haben, genau rückgängig gemacht werden, so gehen auch die veränderten Zustände in die früheren zurück.

Jedes reale Element ist daher 'konstant' in diesem Sinne, daß es zwar unter verschiedenen Bedingungen sich wirklich ändert, aber nur innerhalb einer abgeschlossenen Reihe von Formen, innerhalb deren es sich vorwärts und rückwärts so verwandeln läßt, daß es immer wieder dasselbe wird, so oft die Bedingungen, unter denen es sich befindet, wieder dieselben werden.

Dies Verhalten unterscheidet die realen Elemente, von denen die Physik spricht, von der Vorstellung, die wir uns über geistige Subjekte machen. In den letztern bleibt eine Erinnerung an die frühern Erlebnisse zurück, durch welche die Wiederkehr derselben Bedingungen nicht mehr dieselben Effekte hat wie früher.

§ 30.

Dem Begriff der Sache nach würde es mithin möglich sein, daß ein und dasselbe Element, je nachdem es sich mit andern in verschiedenen Wechselwirkungen befindet, in Bezug auf eine sonst von ihm ausgehende Kraft sich bald als größere, bald als kleinere Masse erwiese, nur unter denselben Bedingungen immer wieder als dieselbe. Empirisch aber weiß man, daß die Größe des Gewichts, welche an bestimmtem Orte die Anziehung eines Körpers gegen die Erde mißt, ganz unabhängig ist von der Art, wie die Elemente dieses Körpers verteilt sind, oder von den chemischen Verbindungen, in denen sie mit andern stehen. Daraus ist zwar nicht in der Physik, aber in der Naturphilosophie der sehr häufige Irrtum entstanden, als sei 'Gewicht' ein Character indelebilis alles physisch Realen und unabtrennbar vom Begriff der 'Masse', sodaß um deswillen die Zulässigkeit der Hypothese von 'imponderabeln Stoffen' angefochten wurde.

Der Ungrund dieser Gedanken ist durch das Vorige klar. — Der Begriff der Masse läßt sich aber auch noch von andrer Seite betrachten; nämlich nicht als Maß der Intensität, mit welcher ein Körper alle von ihm ausgehenden Wirkungen hervorzubringen strebt, sondern auch als Maß der Intensität derjenigen Kraft, die auf ihn wirken muß, um einen bestimmten Bewegungserfolg an ihm hervorzubringen. Man findet aus der Betrachtung der Gegenseitigkeit aller Wirkungen sehr leicht, daß nicht bloß bei Mitteilung schon bestehender, sondern auch bei Erzeugung neuer Bewegungen zwischen zwei Körpern die Beschleunigungen beider sich direkt verhalten müssen wie die Größe des entgegenwirkenden Körpers, welcher

die Bewegung erzeugt, und umgekehrt wie die Größe desjenigen, an dem sie erzeugt werden soll.

Dieser Trägheitswiderstand, vermöge dessen ein Körper a, um in die bestimmte Bewegung u versetzt zu werden, einer größeren Kraft bedarf als ein andrer b, bildet das Maß der Masse für a und b, ist dem Begriffe nach gänzlich unabhängig von der speciellen Kraft der Gravitation und würde immer noch in der Welt gelten, wenn diese nicht vorhanden wäre.

Viertes Kapitel.

Die verschiedenen mechanischen Wirkungen.

§ 31.

Versuchen wir mit den bisher durchgegangenen Hülfsmitteln die Erklärung der Naturerscheinungen, so finden wir durch sie nur ein einziges Gebiet, und auch dies nur unter einer bestimmten Beschränkung, vollkommen von Grund aus konstruierbar, nämlich die Bewegung absolut freier Körper, die bloß durch fernwirkende Kräfte aufeinander wirken, also der Himmelskörper.

Die Beschränkung aber, die hier stattfindet, besteht darin, daß wir uns die beiden wechselwirkenden Körper (Sonne und Planet) auf eine durchaus unbekannte Weise zu fertigen Ganzen, die im wesentlichen unverändert bleiben, bereits verbunden denken, dagegen die Molekularkräfte, durch welche beide zu Kugeln von bestimmtem Volumen werden, ganz aus der Untersuchung ausschließen, wozu wir berechtigt werden durch den leicht zu führenden Nachweis, daß die Summe aller Anziehungen der verschiedenen Teile zweier voneinander entfernten Kugeln aufeinander unter Voraussetzung des Newton'schen Gesetzes der Gravitation sich immer so ansehen läßt, als gingen die Kräfte einzig von den Mittelpunkten der Kugeln aus. Hierdurch ist die Frage auf die nach der Wechselwirkung zweier Massenpunkte reduziert.

§ 32.

Der andere Fall, die 'Mitteilung' einer schon bestehenden Bewegung, hat seine besonderen Schwierigkeiten.

Die gewöhnlichste Vorstellung, ein stoßender Körper A teile eine bestimmte Geschwindigkeit v dem von ihm gestoßenen B in einem unteilbaren Zeitaugenblick mit, wird von der Mechanik zurückgewiesen auf Grund der Überzeugung, daß jede endliche Größe eines Effekts (hier: eine endliche Geschwindigkeit) nur während einer endlichen, wenn auch noch so kleinen Zeitdauer hervorgebracht werden könne und das Integral der unendlichkleinen Zunahmen sei, die während aller unteilbaren Momente dieser Zeitdauer sich ansammeln.

Für diesen allgemeinen Grundsatz wird man einen noch einfacheren Gedanken, von dem er abgeleitet werden könnte, nicht finden, aber apagogisch kann man hier, wie bei dem Gesetz der Beharrung, einsehen, daß der empirisch gegebene Naturlauf undenkbar wäre, wenn jener Satz nicht gölte. Es sei M die Summe von Bedingungen, von der ein Erfolg Z abhängt. Tritt dieses ganze Z auf einmal und ohne Zeitverlauf ein, sobald M verwirklicht ist, so geht eben dadurch M in eine neue Summe von Bedingungen M' über, der ein neuer Erfolg Z' entspricht. Tritt dieser auch ohne Zeitverlauf auf und geht dies so fort, so sieht man, daß zwischen der ersten Bedingung M und einem letzten Erfolg $Z^{(p)}$ überhaupt gar nichts zeitlich geschieht und daß anstatt einer Reihe von Naturvorgängen, deren einer den andern erzeugt, bloß ein klassifikatorisches System entsteht, in welchem jedes Glied durch eine bestimmte Anzahl von Zwischengliedern mit M zusammenhängt, etwa gleich dem System mathematischer Sätze, die auch so einander subordiniert sind, aber nicht in der Zeit auseinander entspringen.

§ 33.

Unter dieser Voraussetzung ist auch die Mitteilung der Bewegung' ein Akt, der Zeit braucht, und kann nun auf unsere Grundbegriffe zurückgebracht werden.

Wenn ein Körper A sich mit einer Geschwindigkeit v auf einen zweiten B, der in Ruhe sein mag, hinbewegt, so wird die Repulsivkraft, die wir zwischen beiden auf keinen Fall entbehren können, anfangs bei noch beträchtlicher Entfernung nahezu wirkungslos sein, sodaß der Annäherung des A zu B bis auf unmerkliche Abstände kein Abbruch geschieht. Dann aber wird zwischen beiden der repulsive Effekt mit der weiteren Annäherung in sehr beschleunigtem Maßstab wachsen; und da er ebensowohl von A nach B als von B nach A gerichtet sein muß, so wird daraus eine Verzögerung der Geschwindigkeit des A und die Entstehung einer Geschwindigkeit für B, durch welche B dem A ausweicht, hervorgehen. Eine eigentliche Berührung der beiden wechselwirkenden Massenpunkte würde dabei nicht stattfinden.

§ 34.

In der Beobachtung kommt nicht dieser ‘Stoß’ zweier Atome, sondern nur der zweier zusammengesetzten Körper, die nur an einzelnen Punkten einander berühren können, vor und es fragt sich, welche Gesamtwirkung entstehen wird.

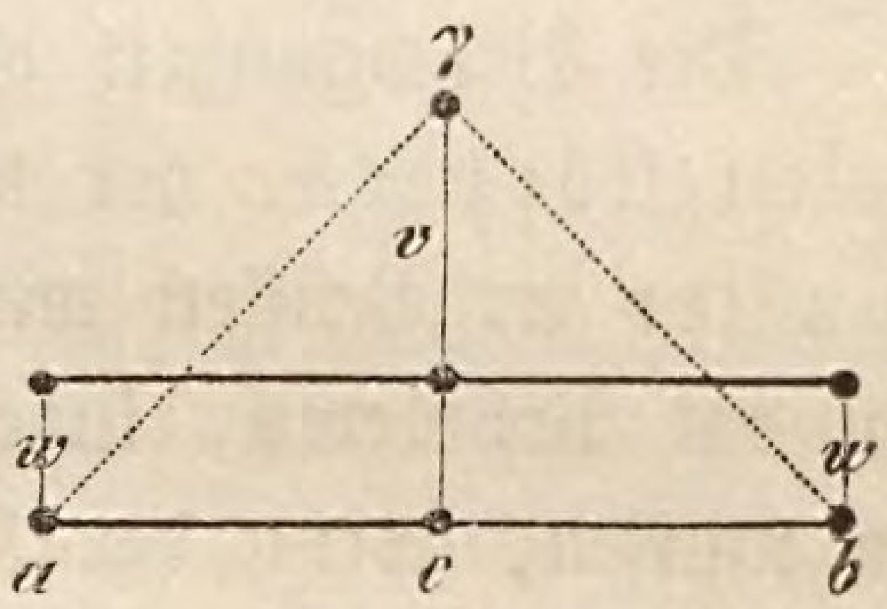
Man kann diese nicht so bestimmen, daß man wirklich auf die einzelnen Wechselwirkungen der Atome zurückginge und konstruierend die Resultante derselben bestimmte. Man ist genötigt, gewisse extreme Fälle hypothetisch anzunehmen und aus der Definition derselben die notwendigen Folgen abzuleiten, dann aber zuzusehen, in welchem Grade ein in der Erfahrung gegebener Fall sich einem dieser ‘reinen Fälle’ annähert. Daher denn die wirkliche Berechnung fast niemals ohne bloß empirische Data und fast immer nur annähernd erfolgen kann.

Zu diesen reinen Fällen’ gehören die Hypothesen zweier ‘ganz unelastischen’ und zweier ‘vollkommen elastischen’ Körper, die aufeinander stoßen und aus denen, wie bekannt, zwei verschiedene Arten von Erfolgen abgeleitet werden.

§ 35.

Eine sehr allgemeine Frage ist die: wie sich über ein ganzes System verbundener Massen eine Bewegung verbreitet, die von einem Stoß herrührt, welcher nur auf einen Punkt des Systems wirkte.

Wir nehmen zu diesem Zweck eine völlig starre Massenlinie an, das heißt eigentlich einen Cylinder von Masse, dessen Durchmesser bloß völlig gleichgültig ist, weil, sobald die Masse in jedem Durchschnitt gleich dicht und gleich dick ist, die aufzufindenden Gesetze unabhängig von dem Radius der Grundfläche sind. Zur Vereinfachung indessen nehmen wir an, der Cylinder bestehe nur aus drei ganz gleichen, gleich weit voneinander entfernten Elementen a, c, b, die durch uns völlig unbekannte, aber konstant und unveränderlich wirkende Kräfte in diesen Lagen und Abständen erhalten werden. Wirkt senkrecht zu dieser Linie ein Stoß auf c, welcher c, wenn es frei wäre, in der Zeiteinheit nach γ treiben würde, so würden hierdurch die Abstände $a\gamma$ und $b\gamma$ größer, als ac und bc, und die Linie geknickt. Da dies nach unsrer Definition der ‚starren' Linie unmöglich ist, so muß es durch die beständigen Wechselwirkungen der drei Elemente dahin gebracht werden, daß sie in einer neuen geraden Linie sich anordnen, d. h. c muß von γ aus einen gewissen Weg v rückwärts, a und b dagegen müssen einen gewissen Weg w vorwärts machen; und nach dem Gesetz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung muß $cv = w(a + b)$ oder $v = 2w$ sein. Da nun $v + w = c\gamma$, so folgt, daß die Wege, welche alle drei Elemente nach vorwärts durchlaufen, einander gleich und gleich dem dritten Teil des Weges $c\gamma$ sind, den c allein durchlaufen hätte, wenn es frei gewesen und von dem Stoß getroffen worden wäre.



Dieser Satz läßt sich leicht verallgemeinern auf den Fall, daß eine starre Linie von n Elementen in ihrem Mittelpunkt oder Schwerpunkt getroffen wird.

Nach einem gleichen Gedankengang kann man den zweiten Satz finden, daß, wenn der Stoß nicht den Schwerpunkt, sondern einen andern Punkt der Linie trifft, die ganze Linie sich geradlinig so fortbewegt, wie sie gethan haben würde, wenn der Stoß ihre gesamte Masse im Schwerpunkt vereinigt getroffen hätte, und zugleich sich so dreht, wie sie sich drehen würde, wenn ihr Schwerpunkt festläge.

Endlich kann auf gleiche Weise der dritte Satz ermittelt werden, daß zwei Kräfte, die an einer starren Linie, deren einer Endpunkt fest ist, einander das Gleichgewicht halten sollen, sich umgekehrt verhalten müssen, wie ihre Abstände von diesem Endpunkt.

§ 36.

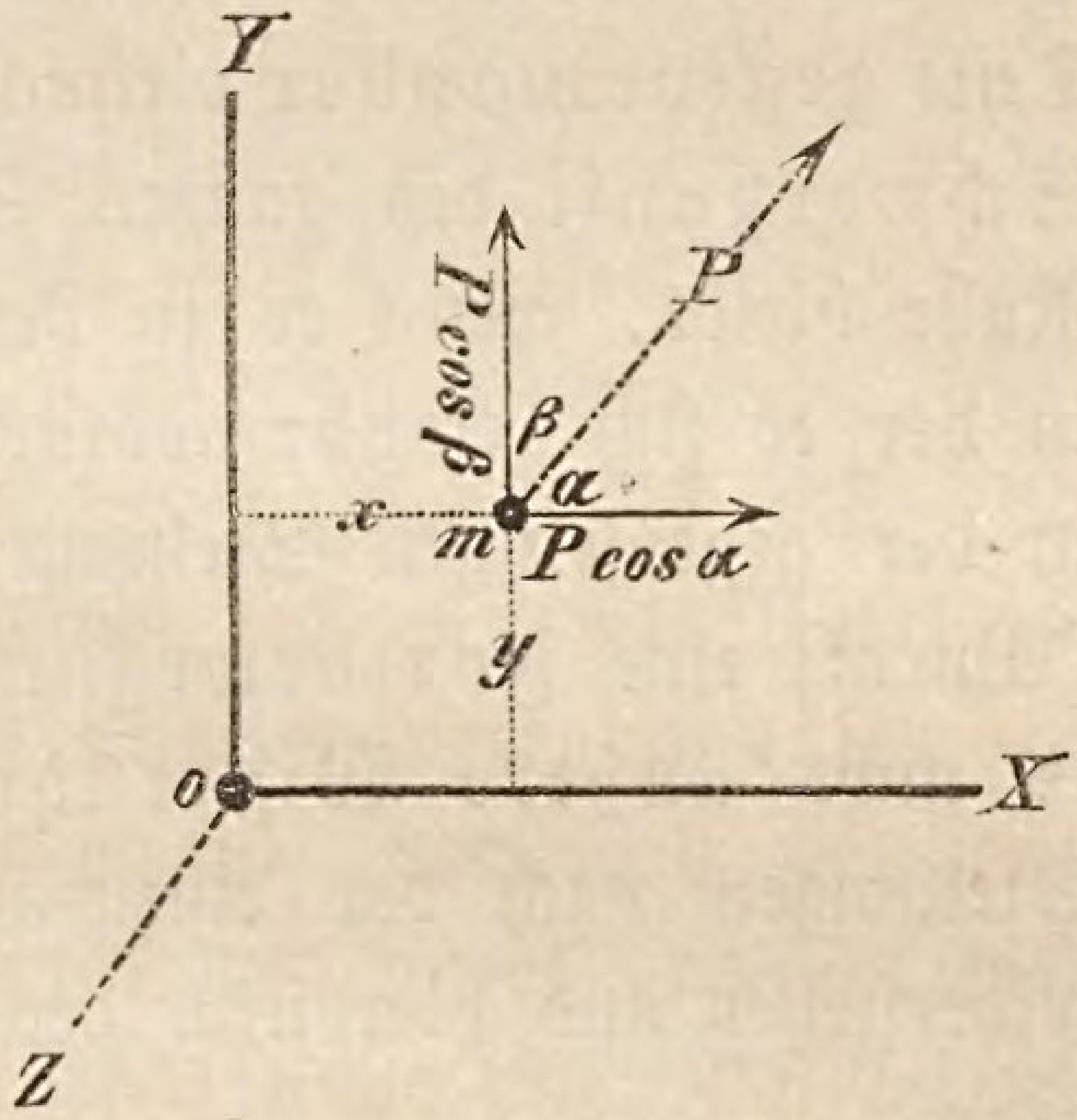
Die Bedingungen des Gleichgewichts eines festen völlig freien Körpers, der von beliebigen Kräften an beliebigen Punkten angegriffen wird, findet man ebenfalls aus der Definition des Problems, indem man zeigt, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, wenn der Körper sich translatorisch oder drehend bewegen soll, und dann diese Bedingungen negiert.

Was das erste betrifft, so läßt man ganz dahingestellt, wie die an verschiedenen Punkten angreifenden Kräfte es dahin bringen, den ganzen Körper geradlinig fortzutreiben. Wenn sie es aber dahin bringen, so folgt aus dem Begriff der Festigkeit, daß alle Teile desselben gleich große und parallele Wege zurücklegen, d. h. daß die Wirkungen aller Kräfte in Bezug auf jeden Punkt sich zu derselben Resultante R zusammensetzen. Und der Körper ist in Ruhe, wenn $R = 0$ ist. Soll dies aber für jeden beliebigen Punkt stattfinden, so muß R unabhängig sein von der Lage der Angriffspunkte der verschiedenen Kräfte, und diese müssen immer, wenn man sie mit sich selbst parallel an einen beliebigen Punkt versetzt, $R = 0$ geben. Diese Bedingung liefert die drei ersten Gleichungen für das Gleichgewicht, indem man lediglich zum Zweck der

Rechnung jede Einzelkraft P in drei nach rechtwinkligen Achsen gerichtete Komponenten zerlegt:

$$\Sigma\ P \cos \alpha = 0$$
$$\Sigma\ P \cos \beta = 0$$
$$\Sigma\ P \cos \gamma = 0.$$

Drehen aber wird sich ein Körper dann nicht, wenn drei Punkte in ihm, die ein Dreieck bilden, unveränderliche Koordinaten haben. Zur Bequemlichkeit der Rechnung substituiert man diesen drei Punkten drei einander rechtwinklig schneidende Ebenen. Was zunächst eine Drehung der XY-Ebene, also eine Drehung um die Z-Achse anlangt, so läßt sich zu diesem Behuf jede Kraft P, die einen Punkt m angreift, welcher die Koordinaten x und y besitzt, in zwei auf die X- resp. auf die Y-Achse senkrechte Komponenten zerfällen, welche P cos β resp. P cos α sind, wenn die Kraft P mit der X-Achse den Winkel α, mit der Y-Achse den Winkel β macht. Diese beiden Komponenten suchen das System der verbundenen Achsen oX und oY, und zwar in entgegengesetztem Sinne zu drehen: die eine P cos β so, als ob sie an der X-Achse in der Entferung x, die andre P cos α so, als ob sie an der Y-Achse in der Entfernung y von o, dem Drehpunkt der XY, angriffe. Daher werden ihre 'Momente' sein x · P cos β und y · P cos α; und die Differenz dieser Produkte müßte Null sein, wenn diese eine Kraft P, für sich allein, keine Drehung erzeugen soll. Es muß daher die Summe dieser Differenzen von Produkten, auf alle Kräfte P erstreckt, Null sein, wenn der Körper sich nicht um die Z-Achse drehen soll:



$$\Sigma\ P\,(x \cos \beta - y \cos \alpha) = 0.$$

Bei der völligen Symmetrie der Verhältnisse giebt es noch zwei analoge Gleichungen, welche die Drehung um die X-Achse und um die Y-Achse aufheben.

Der Körper ist also in Ruhe, wenn diese sechs Gleichungen (die drei von wegen translatorischer Bewegung und die drei von wegen Drehung) zugleich bestehen.

§ 37.

Gehen wir zu den Bewegungen über, die ein System von Teilen durch innere odere äußere Kräfte erfährt, so läßt sich leicht nachweisen, daß durch innere Kräfte der Teilchen gegeneinander, die nur von den Entfernungen abhängig sind, nach dem Gesetz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung zwar die Lage der Teile gegeneinander vielfach verschoben werden kann, daß jedoch der Schwerpunkt des ganzen Systems nicht verlegt wird, sondern in Ruhe bleibt, wenn er in Ruhe war, oder die Bewegung fortsetzt, in der er sich befand; woraus z. B. folgt, daß keine Veränderung in der gegenseitigen Stellung der Glieder eines lebendigen Wesens [Wurm] eine Fortbewegung im Raume erzeugen kann, wenn es nicht äußere Widerstände giebt, die bei den verschiedenen Stellungen nach der einen Richtung mehr, als nach der andern widerstehen und hierdurch den Ausschlag für eine Bewegungsrichtung geben.

§ 38.

Wenn eine Kraft P auf einen Punkt O wirkt, der mit andern Punkten durch feste oder veränderliche Verbindungen zusammenhängt, so kann P nicht die Wirkung haben, die es hätte, wenn O frei wäre. Die Verbindungen bringen für P einen Widerstand hervor, der dessen Wirkung modifiziert; aber nach dem Gesetze der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung muß dem Verluste von P eine gleich große und entgegengesetzte Änderung des Systems entsprechen, die entweder auch in Bewegungen oder in Drücken und Spannungen besteht. Dies beides (die sogenannten 'verlorenen Kräfte', die zur Bewegung von O nichts beitragen) muß also einander aufheben. Und nach diesem Grundsatz kann man in einfachen Fällen, wo die

Art der Einwirkung der Verbindungen deutlich ist, die resultierende Bewegung von O direkt bestimmen.

Allgemeiner wird dieser Gedanke, das 'Princip von d'Alembert', so ausgedrückt: Wenn mit der äußeren Kraft P an dem Punkt O eine Kraft J zusammengesetzt wird, die den Widerstand oder die modifizierende Einwirkung repräsentiert, welche die Verbindungen des Systems auf P ausüben, so ist die Resultante X aus P und J die Kraft, welche dem Punkte O, wenn er frei wäre, dieselbe Bewegung erteilen würde, welche er jetzt, an das System gebunden, wirklich erfährt. Daraus folgt, daß eine Kraft — X, an O angebracht, den beiden Kräften P und J, d. h. der Kraft P unter den Bedingungen des Systems, das Gleichgewicht halten muß. Man kann also aus dem bekannten P die Kraft X und folglich dann auch die Bewegung von O ableiten, wenn man nachweisen kann, unter welchen Bedingungen [durch welche Kraft — X] P an dem gegebenen System im Gleichgewicht gehalten wird.

§ 39.

Um diese Frage allgemein zu lösen, fußt die hier nicht weiter durchzugehende Berechnung auf dem 'Princip der virtuellen Geschwindigkeiten' — einem, logisch genommen, sehr einfachen Gedanken, der nur eine anders gewendete Definition des Gleichgewichts ist.

Wenn Gleichgewicht eines Systems besteht, so heißt dies, daß die an allen Punkten desselben angreifenden Kräfte nicht im stande sind, nach irgend einer Richtung Z Bewegung hervorzubringen; und das wird nur stattfinden, weil entweder alle nach Z genommenen Komponenten aller Kräfte für sich = 0 sind, oder weil sie einander im Gleichgewicht halten. Das letztere aber thun sie dann, wenn ihre 'Momente' gleich und entgegengesetzt sind.

Eine Kraft nämlich bringt ihre Wirkung nicht bloß proportional ihrer eigenen Stärke hervor, sondern auch abhängig von der günstigen Lage ihres Angriffspunktes. Man würde also $P \cos \varphi$,

welches die nach einer beliebigen Richtung Z fallende Komponente von P sein würde, noch mit dem Faktor multiplizieren müssen, welcher dieser Gunst der Lage entspricht. Handelte es sich um einen festen Drehpunkt, so würde die Entfernung des Angriffspunkts der Kraft von diesem zu nehmen sein. Man begreift leicht, daß dafür auch die Größe des Bogens genommen werden kann, den jeder Punkt des Systems beschreiben würde, wenn man demselben eine Verrükkung in der Richtung Z widerfahren ließe. Die Summe der auf die Richtung Z projizierten Kräfte, jede mit dem Wege multipliziert, den ihr Angriffspunkt nach dieser Richtung durchlaufen müßte, oder die Summe der 'virtuellen Momente' der Kräfte muß also zum Gleichgewicht = 0 sein.

Der Gedanke, den man hierbei verfolgt, ist mithin dieser: Man fingiert eine Bewegung, die das System mache, berechnet die Momente der Kräfte, die stattfinden würden, wenn diese Bewegung ausgeführt würde, und zeigt dann, daß diese Momente sich zu Null aufheben, daß mithin in dem System keine wirksamen Kräfte übrig bleiben, die diese fingierte Bewegung hätten ausführen können. Einfache Fälle kann man unmittelbar durch die Betrachtung der möglichen Verrückungen auf diese Weise beurteilen; für zusammengesetztere bietet die Mechanik mathematische Methoden zur Ausführung, die uns hier nichts angehen.

§ 40.

Diese unvollkommenen Umrisse bekannter Principien der analytischen Mechanik sind hier nur angeführt, um den Unterschied zwischen ihnen, welche nur Principien oder Methoden der Erkenntnis und der Berechnung sind, von den eigentlich sachlichen Principien zu zeigen, welche die Natur des mechanischen Geschehens selbst bedingen. Diese letzteren kann man auf die bekannten vier zurückbringen:

1) die Beharrung jeder einmal entstandenen Bewegung;

2) die Zusammensetzung verschiedener Bewegungen desselben Massenpunkts zu Einer resultierenden Bewegung;

3) die Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung zwischen den zwei Elementen, die zu jeder Kraftäußerung notwendig sind; endlich

4) die Unmöglichkeit, daß eine Kraft in einem dauerlosen Augenblick eine endliche Wirkung erzeuge, oder die Notwendigkeit, jede solche als das Integral unendlich-vieler unendlich-kleiner Wirkungen zu betrachten.

Alles, was in den verwickeltsten Fällen geschieht, beruht auf diesen Bedingungen.

§ 41.

Über den Zusammenhang aller Naturwirkungen im großen liegt jedem Verstande der Gedanke sehr nahe, daß in dem beständigen Wechsel derselben sich irgend etwas konstant erhalten müsse, ein Gedanke, den man noch weiter in die beiden selbstverständlich scheinenden Sätze formuliert: 'keine Bewegung könne aus nichts entstehen', und: 'keine könne verschwinden, ohne irgend einen Effekt zurückzulassen, durch den sie ersetzt wird'. Allein gar nicht so einfach ist nun die Bestimmung dessen, was eigentlich das Konstante im Wechsel bildet.

Man hat zunächst gemeint (indem man hauptsächlich an die 'Mitteilung' der Bewegungen dachte), daß die Summe der 'Bewegungsgrößen' (Produkte aus Masse und Geschwindigkeit) in der ganzen Welt eine beständige Größe sei, die nur eine verschiedene Verteilung, aber weder Zunahme noch Verlust erfahre.

Diese Annahme stimmt nicht mit der gleichzeitig festgehaltenen Vorstellung, daß an einem einfachen Massenpunkt zwei gleiche und entgegengesetzte Bewegungen einander zu Null aufheben, eine Vorstellung, die in der Mechanik nicht entbehrt werden kann, die aber offenbar die Möglichkeit eines ganz spurlosen Verschwindens von Bewegungen aus der Welt in sich schließt, so lange man das einzelne Massenelement als ein bloßes unveränderliches Substrat ansieht, an welchem sich, ohne daß es dabei innerlich etwas leidet, Bewegungszustände einfinden, summieren, bestreiten und aufheben.

Wir haben jedoch schon früher behauptet, daß die ʻMitteilung der Bewegungʼ überhaupt nicht auf diese Weise, sondern nur durch Wirkung von Kräften geschehe, die zwischen den einander genäherten Elementen entstehen und die, wenn nur von zwei Massenpunkten die Rede wäre, nicht zur Vernichtung, sondern nur zu anderer Verteilung der Bewegungen führen könnten. Wenn aber eine größere Anzahl von Elementen in Wechselwirkung steht und eines davon momentan zur Ruhe gebracht wird, so würde später der bloße Wegfall einer der hemmenden Bedingungen dem ruhenden Element gestatten, die früher balancierte Kraft wieder auszuüben und hierdurch (in Wechselwirkung mit andern Elementen) eine Bewegung neu anzufangen, was nicht möglich wäre, wenn man seine vorige ʻRuheʼ lediglich als Mangel alles Geschehens auffaßte.

§ 42.

Man ist neuerdings gewohnt, die gehemmten Kräfte als Spannkräfteʼ den wirksamen als ʻlebendigenʼ gegenüberzustellen, und man würde von dem Ganzen der Natur gern behaupten, daß die Summe beider Kräfte zusammen eine konstante Größe sei. Man würde damit den einfachen Gedanken ausdrücken, daß die Kraft jedes Elements gegen jedes andere an sich unverlierbar sei, daß dagegen ihr Effekt ganz oder teilweis gehindert werden könne und daß dann der gehemmte Teil der Kraft als eine Wirklichkeit zurückbleibe, aus welcher unter veränderten Bedingungen der jetzt zurückgehaltene Teil des Bewegungseffekts wieder entspringen könne.

Der mathematische Teil der Ausbildung dieser Lehre interessiert uns hier nicht; dagegen müssen wir fragen, was denn eigentlich eine Spannkraftʼ dann Wirkliches bezeichnet, wenn sie ʻSpannkraftʼ ist, d. h. nicht wirkt. Es kann gar nichts helfen zu sagen, daß sie doch im Gleichgewicht mit andern steht und diese aufhebt, so lange man nicht sagen kann, wodurch sich dieses ʻGleichgewichtʼ, d. h. ein Nullwert der Bewegung, von demjenigen Nullwert unterscheidet, der stattfinden würde, wenn gar keine Kräfte wirkten. Die

Verfolgung dieses Gedankens führt darauf zurück, daß wir notwendig in allen Elementen innere Zustände annehmen müssen, die etwas ebenso Wirkliches und Veränderliches sind, als z. B. unsere eignen Gemütszustände. Nach diesen inneren Zuständen müssen sich die äußern Bewegungseffekte und nach diesen wieder die innern Zustände richten, sodaß zu jeder gehemmten Bewegung ein innerer Zustand gehört, der später wieder zur Bedingung einer neu entstehenden Bewegung werden kann.

Der Ausdruck 'Spannkraft' mag daher praktisch ganz wohl verwertbar sein, drückt aber nichts Wirkliches aus, wenn er nicht geradezu diese innern Zustände der Elemente meint, die man gewöhnlich in der Physik zu übergehen pflegt.

§ 43.

Die Beobachtung, daß mitgeteilte Bewegungen nicht immer ganz an dem Körper erscheinen, dem sie mitgeteilt werden, hat die Frage geweckt, wo der scheinbar verlorene Teil bleibe, und es hat sich gefunden, daß derjenige Bestandteil, der nicht zu translatorischer Bewegung verwendet wird, unter anderer Gestalt, hauptsächlich als Temperaturerhöhung des gestoßenen Körpers, wiedererscheint. An diese an sich sehr wichtigen Untersuchungen über das sogenannte mechanische Äquivalent der Wärme hat sich eine Verallgemeinerung des hier Beobachteten angeschlossen in der Weise, daß eine einzige allgemeine Naturkraft angenommen wird, die, an sich von keiner bestimmten Form ihres Wirkens, sich bald in diese, bald in jene specielle Naturkraft verwandle, in ihrem Gesamtbetrage aber in der Welt unveränderlich sei.

Dies kann man nur als eine Redensart, von geringem Nutzen, aber von großer Gefahr für die Genauigkeit unserer Vorstellungen ansehen. Eine Kraft ohne eigene Wirkungsweise ist an sich ein undenkbarer Begriff und kann noch viel weniger etwas Wirkliches bedeuten. Er kann vielmehr immer nur ein substantivischer Ausdruck für einen Zusammenhang verschiedener Ereignisse sein.

Es geht ferner völlig über die Erfahrungen hinaus, zu behaupten, daß jede Form A, welche diese allgemeine Kraft angenommen hätte, sich direkt in jede andere B verwandeln könne. Und wenn dies endlich auch stattfände, so wäre der Ausdruck des 'Sichverwandelns' unpassend genug. Denn natürlich kann die Annahme der verschiedenen Formen A, B ... nicht als eine willkürliche Selbstbestimmung, sondern nur als das notwendige Resultat angesehen werden, welches aus jener Kraft und aus den jedesmaligen Bedingungen, unter denen sie wirkt, nach denselben allgemeinen Gesetzen der Mechanik, die auch sonst gelten, entspringen muß.

Daher hat sich sogleich an jenen allgemeinen Gedanken die Neigung angeknüpft, sämtliche einander so vertretende Wirkungsformen A, B ... auf einen vergleichbaren Grundvorgang zurückzuführen, z. B. die Wärme auf Bewegungen der kleinsten Teilchen ponderabler oder imponderabler Natur. Und soweit dies gelingt, würde dann der ganze Satz nur behaupten, daß eine bestehende Bewegung je nach der Natur und den eigentümlichen Wechselwirkungen der Elemente, denen sie mitgeteilt werden soll, sehr verschiedene Formen (als translatorische Bewegung ganzer Körper, als Drehung derselben, als Oscillation der kleinsten Teilchen 2c.) annehmen kann.

§ 44.

Was nun das Maß dessen betrifft, was man als das Beständige im Wechsel ansieht, so kann man es als selbstverständlich ansehen, daß keine Wirkung aus nichts entsteht, sondern zu ihrer Erzeugung allemal ein bestimmtes Quantum einer andern Wirkung, nämlich desjenigen Vorgangs, der jene erste erzeugt, aufgebraucht werden muß. Oder anders gesagt: wenn überhaupt ein Naturvorgang von der Form A (Stoß) einen andern von der Form B (Wärme) veranlassen kann, so kann ein bestimmtes Maß a des A immer nur ein bestimmtes Maß b des B erzeugen. Und umgekehrt: wenn B wiederum dazu dienen kann A zu veranlassen, so kann aus b kein größeres Quantum des A entspringen als jenes a, woraus

b entstanden war. Auch dies ist selbstverständlich und bedarf in dieser hypothetischen Fassung keines weitern Beweises.

Dagegen: zu behaupten, a sei der Größe nach gleich b, und es erhalte sich folglich immer dieselbe Quantität von Wirkung, ist deshalb unmöglich, weil A und B nicht nach gemeinschaftlichem Maßstab kommensurabel zu sein brauchen. Dies ist in einem Fall ganz deutlich: von den physischen Reizen A hängen unsere Empfindungen B ab; und wir zweifeln nicht, daß die Stärke der Empfindungen gesetzlich abhängig sei von der Intensität der Reize, auch nicht daran, daß die Empfindung nicht bloß bei Gelegenheit des Reizes entsteht, sondern daß ein Teil a desselben aufgebraucht werden muß, um eine bestimmte Stärke b der Empfindung zu erzeugen. Gleichwohl bleiben a und b stets inkommensurabel. Man kann sie daher nicht gleich, sondern nur äquivalent setzen. Und das, was in dem ganzen Naturlauf sich wirklich konstant erhält, wird daher weder eine Kraftgröße, noch eine Bewegungsgröße (wie man sie auch messen mag), sondern nichts, als die gesetzliche Korrespondenz des Zusammenhangs verschiedener Wirkungen sein, von denen die eine aus keiner andern Größe einer andern entspringen kann, als aus derjenigen, welche sie selbst hervorzubringen imstande war.

Fünftes Kapitel.

Von den vorhandenen Stoffen.

§ 45.

Nachdem wir gesehen, welchen Gesetzen alle Naturvorgänge, worin sie auch bestehen mögen, folgen müssen, fragen wir jetzt, was denn vorhanden ist und geschieht.

Wir erwähnen kurz, daß alle sinnlichen Qualitäten, durch die wir zuerst die wahrnehmbaren Körper zu definieren pflegen, sich nicht als objektive Prädikate derselben, sondern als subjektive Erregungen erweisen, die in uns im Fall einer Wechselwirkung der Körper miteinander und mit dem unsrigen entstehen.

Als Bezeichnung dessen, was außer uns existiert, bleiben zunächst nur die mathematischen Vorstellungen von Größe, Gestalt, Lage und Dichtigkeit einer von Realem erfüllten Ausdehnung übrig. Allein 'Ausdehnung' kann doch nicht als ein Prädikat gelten, welches das Wesen des Realen als Character indelebilis ausmachte; denn an keiner Materie ist sie unveränderlich, sie läßt überall Vermehrung oder Verminderung zu, widersteht aber dem Versuche zu beidem. Sie kann daher nicht als Eigenschaft, sondern nur als Wirkung von Kräften aufgefaßt werden, die von dem eigentlich Realen unter verschiedenen Umständen mit verschiedener Intensität ausgeübt werden.

Hierauf beruhen die mannigfaltigen Versuche, die Materie zu 'konstruieren', d. h. recht verstanden: eine Vorstellung desjenigen Realen zu bilden, welches an sich selbst noch nicht ausgedehnte Materie ist, aber durch die von ihm ausgehenden Wirkungen die ausgedehnte Materie, oder für uns den Schein einer solchen, hervorbringt.

§ 46.

Innerhalb dieser Aufgabe selbst unterscheiden sich die Vorstellungen, die von stetiger, und diejenigen, die von unstetiger Raumerfüllung durch das Reale ausgehen.

Die ersteren sind hauptsächlich um des philosophischen Mißverstandes willen verteidigt worden: weil der geometrische Raum stetig teilbar sei, so müsse dasselbe von dem Realen in ihm gelten, und 'leere Räume' seien unmöglich. Da aus dieser Vorstellungsweise niemals etwas praktisch Brauchbares hervorgegangen ist, so lassen wir sie beiseite.

Die andere hat bis in die neuere Zeit die Grundgedanken des antiken Demokritisch-Epikurischen Atomismus wiederholt und behauptet: thatsächlich bestehen alle Körper aus getrennten kleinsten Teilchen. Diese durch leere Distanzen getrennten 'Atome' haben Ausdehnung und Gestalt; sie mögen ihrem Begriff oder Wesen

nach, metaphysisch, teilbar sein; thatsächlich aber giebt es im Naturlauf keine Kräfte, die unter irgend welchen Bedingungen diese Teilung ausführen könnten. Daher bilden die 'Atome' faktisch die letzten Endpunkte aller Zersetzung und die Anfangspunkte aller Verknüpfung. — Diese Vorstellungen haben sich praktisch vollkommen zulänglich erwiesen, philosophisch bedürfen sie folgender Umgestaltung.

§ 47.

Es ist nicht möglich, von einem 'unteilbaren Realen', das als Einheit gelten soll, räumliche Ausdehnung zu behaupten.

Angenommen, V sei das Raumvolumen eines Atoms. Wenn dann irgend ein Punkt x dieses Volumens nicht bloß ein leerer Punkt sein soll, der durch die fernwirkende Kraft eines anderswo gelegenen Realen beherrscht wird, wenn vielmehr in x ein Teil des Realen selbst sein soll, das dies Atom ausmacht, so kann das nur dadurch sich zeigen, daß das Reale in x jeder Kraft einen Widerstand leistet, die es von diesem Orte zu verdrängen sucht. Und dasselbe gilt von allen anderen Punkten des V; sie alle werden ihre Plätze in V nur dadurch einnehmen und nur dadurch zu der Ausdehnung des V beitragen, daß sie als selbständige reale Einheiten miteinander in Wechselwirkung sind. Und das ganze Atom V wird nicht die Einheit sein, die es sein sollte, sondern nur ein fest verbundenes System vieler gegeneinander selbständiger, im Naturlauf vielleicht niemals getrennter, aber doch immer trennbarer Elemente.

Ohne Zweifel wird man zunächst auch diese Elemente sich noch als Körperchen, von noch minimalerer Ausdehnung als das 'Atom', vorgestellt haben. Dieselbe Betrachtung entsteht jedoch dann von neuem; und man überzeugt sich, daß die letzten, einfachen Elemente überhaupt ausdehnungslos, als übersinnliche reale Wesen zu fassen sind, die im Raume zwar einen Ort haben können, von welchem ihre Wirkungen ausgehen, selbst aber gar kein Volumen dieses Raumes durch ihre Gegenwart erfüllen.

§ 48.

Diese Vorstellung ist nur scheinbar ungewöhnlich. Auch die hergebrachten physikalischen Ansichten rechnen die sinnlichen Qualitäten nicht zum Wesen der Materie, fassen sie also eigentlich auch schon übersinnlich. Wenn sie dagegen 'Raumausdehnung' beibehalten, so haben sie zwar den Vorzug größerer Anschaulichkeit, sie müssen indes doch zugestehen, daß die Kräfte, mit denen sich Materien physisch bemerklich machen, nicht aus dem Raumvolumen fließen, dieses vielmehr immer bloß den Schauplatz begrenzt, innerhalb dessen sich die aus einem übersinnlichen Wesen des Realen fließenden Kräfte nur bethätigen.

Es ist deshalb auch nicht korrekt, die neue Vorstellung des Atoms als 'bloßen Mittelpunkt von Kräften' zu bezeichnen. Das Atom' ist nicht bloß der Ort, von dem eine Kraft ausgeht, und ebensowenig diese Kraft selbst, sondern es ist ein Reales, dem eine qualitative, uns freilich nur in ihren Wirkungen erkennbare Natur zukommt, aus welcher dann jene Kräfte als unter bestimmten Bedingungen notwendige Verhaltungsweisen fließen. —

Die Aufgabe der 'Materienkonstruktion' würde nun hiernach die sein: wie aus der Wechselwirkung diskreter, durch leere Distanzen getrennter 'wirksamer Punkte' die scheinbare Raumerfüllung der Körper, und zwar in ihren verschiedensten Eigentümlichkeiten entstehen kann.

Über die Realität des leeren Raumes an anderem Ort [in der Metaphysik].

§ 49.

Suchen wir unsere Vorstellung über die qualitative Natur dieses übersinnlichen Realen auszubilden, so ist die erste Frage, ob alle diese realen Elemente gleichartig, ob also nur eine allgemeine Materie ist, aus der alle specifischen Unterschiede bloß sekundär durch verschiedene Verbindungsweisen der Atome entsprängen, oder ob wir ursprünglich-eigentümliche, auseinander nicht

entspringende Qualitätsverschiedenheiten, also im gewöhnlichen Sinn chemische Elemente anzuerkennen haben.

Vom philosophischen Standpunkte ist zu bemerken, daß das Streben nach 'Einheit' in unseren Naturansichten nur zwei richtige Zielpunkte hat: es ist notwendig

1) an eine Einheit des Planes zu glauben, welcher den Zusammenhang der Vorgänge verbindet, und es ist zwar vielleicht logisch nicht nachweisbar widersprechend, wohl aber absurd*) anzunehmen, es könne einen Kreis von Ereignissen geben, der nur thatsächlich verliefe, ohne mit den übrigen in einer voraus bestimmten Beziehung zu stehen;

2) aber: wenn eine Natur bestehen soll, deren Bestandteile überhaupt nur, sei es planmäßig oder nicht, miteinander in Wechselwirkung stehen, so kann kein Gebiet ihrer Vorgänge von eigentümlichen Gesetzen abhängen, welche mehr als bloße Modifikationen eines allgemeinen Gesetzkreises wären, dessen anders geartete Modifikationen die andern Gebiete der Natur beherrschen. Deshalb ist notwendig die Einheit eines höchsten Gesetzkreises.

Dagegen ist gar kein Grund vorhanden zu dem Verlangen, daß auch das Reale, das jenen Gesetzen folgen oder dem Plane dienen soll, durchaus uniform sei. Vielmehr ist die natürlichere Annahme die, daß zur Hervorbringung der Mannigfaltigkeit der Vorgänge, welche die Natur zusammensetzen, eine Anzahl verschiedener Elemente gegeben sei, die, wenn sie geschaffen sind, auf einmal und nebeneinander geschaffen sind, wenn man sie aber als ewig ansehen will, gleich ewig nebeneinander bestanden haben. Der Möglichkeit, alle diese verschiedenen Elemente logisch unter einen allgemeinen Begriff zu bringen, entspricht in keiner Weise eine Notwendigkeit wirklicher Entstehung aller aus einem vorangegangenen allgemeinen Realen.

§ 50.

Die Voraussetzung einer einzigen Urmaterie leidet an der Schwie-

*) vergl. Lotze, System der Philosophie I 274 (2. Aufl. 287).

rigkeit, die immer eintritt, wenn Mannigfaltiges aus Einem Princip erklärt werden soll. Allerdings steht es uns frei, Bewegungen der verschiedensten Art anzunehmen, durch welche die gleichartigen Atome bald in ein kleines System A, bald in ein anderes B oder C zusammengebracht und in dieser Form durch ihre eignen Wechselwirkungen festgehalten werden. Allein da diese Bewegungen immer fortgehen, so ist nicht zu begreifen, warum nicht durch ihre Einwirkungen A mit Leichtigkeit in B oder C sollte umgewandelt werden, da ja der Voraussetzung nach alle diese Formen für die Materie gleich möglich sind und ihre Entstehung auf ähnlichen Bewegungen beruhte.

Wollte man aber annehmen, daß in jedem zufällig entstandenen System die Kräfte der Uratome teils mit der Anzahl, teils mit der Stellung der wechselwirkenden Elemente an Intensität zunähmen, so könnte es zwar eine Systemform geben, deren Zusammenhalt größer wäre als der jeder andern, und auch größer als alle diejenigen Kräfte, die im Naturlauf auf dieselbe ausgeübt werden können und ihrer Natur nach geschickt wären, die Trennung der verbundenen Bestandteile zu veranlassen. Allein unter dieser Voraussetzung würde es wahrscheinlicher sein, daß zuletzt, weil alle diese Bewegungen fortgehen, die ein solches System erzeugt haben, alle Materie sich eben in diese festeste Form der Verbindung vereinigen würde.

Eine Mehrzahl durchaus stabiler Formen der Materie ist daher, bis jetzt wenigstens, durch bloß sekundäre Verknüpfungsformen an sich gleichartiger Teilchen nicht begreiflich.

§ 51.

Bleiben wir daher bei der Annahme ursprünglich verschiedener Elemente, so könnte es, bloß logisch betrachtet, eine beliebige Menge derselben und beliebige Unterschiede zwischen ihnen geben. Gehen wir jedoch von dem Gedanken aus, daß die Natur ein zusammengehöriges Ganze bildet, so muß auch die Anzahl der Elemente ein geschlossenes und gesetzlich gegliedertes System bilden.

Die ursprüngliche Qualität eines Elements läßt sich *an sich* nicht angeben, sondern nur durch die Eigentümlichkeiten oder die specifischen Intensitäten charakterisieren, mit denen dasselbe an gewissen für alle gemeinsamen physischen Wirkungsweisen teilnimmt. Denken wir uns also jedes Element durch eine Kombination hierauf bezüglicher specifischer Koefficienten bestimmt, so müssen diese Kombinationen Glieder einer Reihe oder eines Systems von Reihen sein, innerhalb dessen jedes Element seine bestimmte Stelle einnimmt, jedes seinen bestimmten Grad der Verwandtschaft mit andern hat, und in welchem außerdem nach dem Bildungsgesetz dieser Reihen eine unendliche Anzahl willkürlich angenommener Kombinationen jener Koefficienten *nicht* vorkommt, die ihnen entsprechenden Elemente also nicht existieren. — Diese Voraussetzung *machen* auch in ihrer Weise die Naturwissenschaften, und die Menge der chemischen Elemente wird auf diese Weise zu ordnen gesucht.

Eine andere Folgerung, die auch aus dem Begriffe des '*Naturganzen*' flösse, bleibt dagegen ohne praktischen Wert. Auch die *Menge* nämlich, in welcher innerhalb dieses Ganzen jedes mögliche Element vorkommt, kann nicht principlos bestimmt sein; auch die Verhältnisse dieser *Mengen* zu einander müßten aus demselben Gesetz bestimmbar sein, welches die *qualitativen* Differenzen der Elemente beherrscht. Allein das geringe Bruchstück der Natur, das wir erfahrungsmäßig kennen, braucht nicht diese bestimmten Proportionen der Elemente zu enthalten, und wir haben kein Mittel, diese Voraussetzung zu verifizieren.

§ 52.

Die vorigen Betrachtungen gelten auch von der allgemeinsten Unterscheidung der wirksamen Elemente: in *ponderable* und *imponderable*.

Der Begriff der letzteren enthält an sich gar keine Schwierigkeit. Es ist ein Irrtum der Philosophie, Realität der Materie und Masse nur da finden zu wollen, wo die Form der Wechselwirkung zwischen den Elementen in *Attraktion* besteht und folglich zuletzt

die relativen Größen der Massen durch ihre Gewichte sich bestimmen lassen. Gäbe es gar keine Anziehung in der Welt, suchten vielmehr alle realen Elemente einander abzustoßen, so würde zwar der daraus entstehende Naturlauf der Form nach von dem wirklich bestehenden sehr verschieden sein; aber nicht bloß alle übrigen mechanischen Grundsätze würden auf ihn anwendbar bleiben, sondern auch die Massen der abstoßenden Elemente würden sich ganz analog nach den Trägheitswiderständen bestimmen lassen, welche sie zu überwinden imstande sind.

Zweifel entstehen erst, wenn diese Welt imponderabler Elemente mit dem Reiche der ponderabeln in die Wechselwirkungen tritt, die zur Erklärung der Erscheinungen nötig sind. Die Beispiele der Spannung eines Fadens oder einer Feder, welche ein Gewicht halten oder bewegen, gegen dessen Größe ihr eigenes Gewicht sehr klein ist, zeigen uns, daß große Wirkungen von Elementen ausgehen können, die zwar ponderabel sind, aber sehr geringe Masse besitzen. Es würde an sich nicht unmöglich sein, die sehr bedeutenden Wirkungen der Imponderabilien auf wägbare Stoffe zu begreifen, auch wenn wirklich die nach dem Gewicht gemessene Masse der ersteren stets Null bliebe.

Man müßte dazu voraussetzen, daß zwischen diesen beiden Arten von Elementen lediglich Abstoßung stattfinde, eine Annahme, die man ohnehin insofern immer macht und machen muß, als man annimmt, daß bei allen Gruppierungen imponderabler und ponderabler Elemente Distanzen zwischen ihnen zurückbleiben und eine wirkliche Berührung nie stattfindet.

Glaubt man jedoch zur Erklärung einzelner Erscheinungen Anziehung zwischen den beiden Arten von Elementen, und zwar allgemein nötig zu haben, so hebt man dadurch den Begriff der 'imponderabeln Substanz' wieder auf und betrachtet den supponierten 'Äther' nur als Stoff von so geringer Dichtigkeit und so großer Beweglichkeit, daß er die wirkliche Messung durch Gewicht unausführbar macht.

§ 53.

Die erste Veranlassung, die Vorstellung der Imponderabilien zu benutzen, hatte die Optik. — Die 'Undulationstheorie' setzt an die Stelle sehr schneller translatorischer Bewegung derselben Masse die neue Vorstellung einer Transmission derselben Bewegungsform von Teil zu Teil eines im Ganzen feststehenden Systems, ohne übrigens andere, als die gewohnten mechanischen Vorstellungen zu entwickeln. So außerordentlich bewunderungswürdig diese Theorie durch die feine Übereinstimmung ihrer Ableitungen mit den Erfahrungen ist, so enthalten doch ihre Grundvorstellungen zugestandene Schwierigkeiten, und ein sehr großer Teil ihrer Folgerungen entzieht sich jeder anschaulichen Konstruktion.

Um die Gleichförmigkeit der Lichtverbreitung und Strahlung in jeder Richtung zu erklären, nimmt sie an, den unendlichen Weltraum fülle ein 'Äther', dessen diskrete, durch Fernwirkungen einander abstoßende Elemente überall und nach jeder Richtung gleich dicht liegen, eine Vorstellung, die weder für einen unbegrenzten, noch für einen durch eine äußere Grenze umschlossenen Äther wirklich mechanisch begründbar wäre. Es wird weiter angenommen, die Ätherteilchen schwingen in Amplituden, die sehr klein sind im Vergleich zu ihrer gegenseitigen Entfernung. Daraus folgt, daß der Lichtäther formell unter den Begriff eines starren Körpers fällt. Um zu begreifen, wie die Bewegung ponderabler Körper durch den Raum hindurch (außer der Reflexion und der Brechung, die selbst vollkommen gesetzlich erfolgen) keine Zerstörung dieses starren Systems bewirkt, an welches die Regelmäßigkeit der Lichtstrahlen gebunden ist, würde man annehmen müssen, die Körper und der Äther seien für einander ohne allen Widerstand durchdringlich. Aber diese an sich unwahrscheinliche Hypothese würde, wenn sie streng gelten sollte, Reflexion und Refraktion unerklärbar machen, wenn sie aber nur annähernd gölte, das vorige Bedenken nicht beseitigen.

Es hatte ferner die 'Emissionshypothese' die in dem weißen Licht vorhandenen Farben nur an eine ganz unbekannte Qualitätsdifferenz der geschleuderten Lichtatome geknüpft; die Undulationstheorie begreift sie nach Analogie der Tonhöhen als Folgen der verschiedenen Häufigkeit, mit welcher in gleicher Zeit die lichterzeugende Ursache dem Äther ihre Impulse mitteilt. Allein wenn sich hieraus zwar eine interessante Vergleichung der einzelnen Farben ergiebt, so ist doch nicht vorstellbar, wie überhaupt in demselben Lichtstrahl gleichzeitig Wellen von verschiedener Frequenz und Länge verlaufen sollen, und welches unter ihrem Einfluß die wirkliche Bahn ist, die das einzelne Ätherelement beschreibt.

Da weiter die verschiedenen Lichtquellen, sehr bestimmte Bedingungen ausgenommen, darin übereinstimmen, dieselbe Mannigfaltigkeit verschiedener Wellen zu erregen, so ist zu vermuten, daß eine bessere Einsicht in die erste Entstehung des Lichtes (das wir bis jetzt eigentlich nur in seiner ungestörten oder regelmäßig gestörten Verbreitung kennen) einen Grund für diese scheinbar zufällige Kumulation verschiedener Bewegungen und damit zugleich eine neue optische Grundvorstellung darbieten würde.

Gänzlich unberücksichtigt lassen wir hier diejenigen optischen Fragen, welche auf eine Wechselwirkung des Äthers mit den ponderabeln Elementen führen, bis jetzt der unvollkommenste Teil der optischen Untersuchungen.

Im ganzen scheint es also, daß die Grundvorstellungen dieser Theorie sehr glückliche, aber doch künstliche, dem Sachverhalt sich erfolgreich anpassende, aber ihn doch nicht wirklich ausdrückende Hypothesen sind. Im Augenblick freilich hat man keine Ahnung darüber, welche andern Vorstellungsweisen es geben könnte, die diese Schwierigkeiten vermieden, ohne die eminenten Vorteile der 'Undulationstheorie' einzubüßen.

§ 54.

Die elektrischen Erscheinungen haben zu neuen Vorstellungen geführt. — Zuerst zu der von zwei 'imponderabeln Fluidis', die

in ihrem allgemeinen Verhalten vollkommen ähnlich sind, durch ihre verschiedenen Beziehungen zu ponderabeln Körpern ('Spannungsreihe') ihre Verschiedenheit verraten, einander gegenseitig anziehen, während die Elemente jedes einzelnen einander abstoßen. Diese Abstoßung enthält nichts Widersprechendes, würde aber für sich allein beide Fluida aller unserer Beobachtung entrücken; sie werden bemerkbar nur durch ihre gegenseitige Anziehung.

Setzt man diese allein zwischen + E und — E [positiver und negativer Elektricität] voraus, nicht aber zugleich eine Repulsion, die bei sehr kleinen Entfernungen entstände, so könnte das selbstverständliche Resultat nur eine Durchdringung beider Elemente in demselben Punkte sein; und das so entstandene 'neutrale Element' würde dann auf seinesgleichen gar keine Wirkung ausüben. Woraus folgen würde, daß in demselben Raumpunkt eine unbeschränkte Menge neutraler Elektricität vorhanden sein könnte.

Diese sonderbaren Vorstellungen behauptet niemand. Man benutzt sie aber stillschweigend, wenn man z. B. einen ponderabeln Körper (sobald seine Masse nicht unter den dazu angewandten Proceduren leidet) als einen unerschöpflichen Quell für positive und negative Elektricität betrachtet. Auch die entgegengesetzten Bewegungen von + E und — E in einem geschlossenen Strome könnte man versuchen auf die völlige Durchdringlichkeit beider E füreinander zurückzuführen. Jedenfalls bleibt außerdem die Art, wie diese Bewegungen geschehen, vollkommen unanschaulich.

Notwendig ist indessen jene erste Voraussetzung nicht. Es widerstreitet nicht, zwischen + E und — E Anziehung in größeren und Abstoßung in kleinen Distanzen, also kurz gesagt einen elastischen Zusammenhang beider Elemente anzunehmen, der zur Anziehung wird bei dem Versuch der Trennung und zur Abstoßung bei dem der Durchdringung. Dann ist ein 'neutrales Element' ein kleines System mit den beiden verschieden wirkenden Polen + E und — E an seinen beiden Enden. Zwischen vielen solchen Ele-

menten findet Gleichgewicht dann statt, wenn die Summe der Anziehungen aller auf alle der Summe der Abstoßungen gleich ist.

§ 55.

Die erste Störung eines solchen Gleichgewichts geschieht auf unbekannte Weise; aber jede Störung in dem mechanischen und chemischen Bestande eines ponderabeln Körpers reicht dazu aus.

Angenommen nun, + E sei frei geworden, so begreift sich aus der Repulsion ihrer Elemente ihre Verbreitung über die Oberfläche des Körpers; zugleich aber, da der leere Raum die weitere Zerstreuung nicht begünstigt, muß eine Anziehung des Körpers auf sie angenommen werden, welche sie auf der Oberfläche desselben zurückhält. Aus welchen Gründen jene Verbreitung mehr oder minder leicht geschieht, warum also die verschiedenen Körper mehr oder minder gute ‚Leiter' sind, ist unbekannt.

Denken wir uns einen so ‚elektrisierten Körper' in einiger Entfernung von einem andern neutralen, so wird die positive Elektricität des ersten auf alle elektrischen Elemente des andern scheidend einwirken, da zugleich jenes + E den gleichartigen Bestandteil in jedem dieser Elemente abstößt und den ungleichartigen anzieht. Es ist keineswegs möglich, diese Vorgänge genau mechanisch zu konstruieren; aber die Beweglichkeit und Trennbarkeit der elektrischen Elemente vorausgesetzt, wird doch der letzte Effekt darin bestehen, daß der zweite Körper auf seiner dem ersten zugewandten Seite freie negative, auf der entgegengesetzten freie positive Elektricität zeigt.

Ist diese Verteilung geschehen, so kann die Anziehung der einander zugewandten Elektricitäten beide Körper bis zur Berührung nähern, vorausgesetzt, wie oben, daß beide E zugleich von den ponderabeln Massen angezogen werden und sie bei ihrer eignen Anziehung mit zu bewegen imstande sind. Nach der Berührung, bei welcher gleiche Mengen entgegengesetzter Elektricität sich neutralisieren, verbreitet sich die übrige freie + E über die beiden jetzt zu-

sammenhängenden Körper und bewirkt durch ihre eigene Repulsion die Wiederabstoßung derselben.

§ 56.

Die Anziehung und Abstoßung ruhender elektrischer Elemente (festgestellt durch die Größe des Widerstandes, den man entgegensetzen muß, um die Wirkungen zweier Elemente auf einander aufzuheben) hat man umgekehrt-proportional dem Quadrat der Entfernung und direkt proportional dem Produkt der elektrischen Massen gefunden, also ganz analog der Wirkung der Gravitation. Die Anziehungen und Abstoßungen dagegen, welche elektrische Ströme in demselben oder in verschiedenen Leitern, also die bewegten elektrischen Elemente aufeinander ausüben, lassen sich nach diesem Gesetz nicht begreifen und haben (Wilh. Weber) zu der Annahme eines neuen Grundgesetzes geführt, nach welchem die Intensitäten der elektrischen Kräfte nicht nur von der Entfernung, sondern auch von der Geschwindigkeit, mit der sie verkürzt oder verlängert wird, endlich von der Geschwindigkeit abhängen, mit welcher die vorige Geschwindigkeit in der Zeit sich ändert.

Der hierin ausgesprochene allgemeine Gedanke, der uns allein hier angeht, ist mit Unrecht als eine bedenkliche Neuerung betrachtet worden. Die Abhängigkeit der Kraftintensität von der Entfernung ist um nichts erklärlicher, nämlich dann überhaupt gar nicht begreiflich, wenn man die Entfernung AB bloß als etwas betrachtet, was nur zwischen A und B ist, aber weder in A, noch in B durch irgend einen innern Zustand beider Elemente repräsentiert wird, welcher allein für sie den Grund abgeben kann, sich bei dieser Entfernung gegeneinander anders, als bei einer doppelten oder dreifachen zu verhalten.

Geben wir aber einmal zu, daß alle Elemente der Welt primo loco in einer inneren Wechselwirkung stehen, von der die räumliche Distanz selbst nur ein erscheinender Ausdruck ist, so ist ganz wohl begreiflich, daß die Intensität, mit welcher sie weiter aufein-

ander wirken, nicht bloß von den unmittelbar vorhergegangenen innern Zuständen, also von der Entfernung abhängt, sondern auch abhängig sein kann von dem Rhythmus und der Geschwindigkeit, mit welcher diese inneren Zustände sich ändern, also gewissermaßen von einer inneren Bewegung in dem Wesen der Elemente selbst.

§ 57.

Nachdem man gelernt, die magnetischen Vorgänge mit Hülfe elektrischer Ströme nachzuahmen, hat die Hypothese, daß sie auch in der Natur auf gleiche Weise entstehen, genug für sich, und nur die physischen Ursachen dieser Strömungen selbst bleiben unaufgeklärt. Neue allgemeine Begriffe bietet dann die Lehre vom Magnetismus nicht.

Die viel wichtigere Wärmelehre mußte eigentlich auch damals, als sie einen besonderen 'Wärmestoff' annahm, die Wärmewirkung, Ausdehnung sowohl wie Empfindung, nicht von dem bloßen Dasein, sondern von einer Wirkung desselben auf die ponderabeln Körper, zuletzt also von einer Bewegung desselben abhängig machen. Die Frage war nur, ob die verschiedenen Größen der Wärmewirkung von verschiedenen Mengen dieses mit den Körpern sich verbindenden Stoffes, oder von verschiedenen Intensitäten der Bewegung eines im ganzen konstanten Quantums desselben abhingen.

Für das letztere haben die Versuche entschieden, welche zeigten, daß unter Bedingungen, die jede Wärmezufuhr ausschlossen, durch bloße Mitteilung mechanischer Bewegung Wärme erzeugt werden kann. Indessen ist es nicht möglich, dieselbe lediglich als Bewegung ponderabler Elemente zu denken. Es hat sich gezeigt, daß die 'strahlende Wärme', welche die natürlichen Lichtquellen geben, vollkommen den Gesetzen der Verbreitung, der Zurückwerfung und der Brechung unterliegt, wie die sichtbaren Lichtstrahlen; daß sie also diesen im wesentlichen gleich und nur durch die geringere Wellenfrequenz oder die größere Wellenlänge verschieden ist. Dieselben Analogien zwischen Licht und Wärme finden statt in Bezug

auf die mehr oder minder vollkommene Durchgängigkeit der Körper für sie; und obgleich eine genaue Konstruktion noch unmöglich ist, ist es doch wahrscheinlich, daß die Körper 'durchwärmig' sind, ohne sich zu erwärmen, wenn ihre eigenen Atome an den Oscillationen der durchgehenden Wärme rhythmisch teilnehmen können, daß sie dagegen 'undurchwärmig' sind und erwärmt werden, wenn die Schwingungen ihrer eigenen Teile mit denen der Wärme nicht zusammenstimmen können, wodurch ein Teil der von der letztern mitgeteilten Geschwindigkeit aufgehoben und zu einer gegenseitigen unrhythmischen Bewegung der ponderabeln Elemente verwandt wird, die mit Ausdehnung des ganzen Körpers und zuletzt mit Änderung seines Aggregatzustandes endet.

Da nun die strahlende Wärme deutlich macht, daß die Wärme auf Vibration beruhen kann, umgekehrt aber mechanische Eingriffe, welche zunächst die Lagerung der ponderabeln Elemente (z. B. durch Reibung) stören, ebenfalls Wärme erzeugen, so ist im allgemeinen die Vorstellung berechtigt von Schwingungen, die wechselsweis von imponderabeln zu ponderabeln Elementen oder rückwärts übertragen werden.

§ 58.

So wie verschiedene Massen, um dieselbe translatorische Geschwindigkeit v zu erhalten, sehr verschieden große bewegende Kräfte erfordern, so setzen auch verschiedene Körper den Anregungen der Wärme, durch welche sie in einen Zustand innerer Bewegung ihrer kleinsten Teilchen versetzt werden sollen, einen verschiedenen Trägheitswiderstand entgegen, dessen Größe von der chemischen Natur und von dem Aggregatzustand derselben wesentlich abhängt. Es sind daher verschiedene Wärmemengen nötig, um zwei Stoffe A und B in diejenige innere Bewegung zu bringen, welche auf einen dritten, als Maßstab dienenden übertragen an diesem eine gleiche Wärmewirkung, z. B. Ausdehnung um denselben Grad einer Skala, hervorbringen kann. So bekanntlich braucht Wasser überhaupt, um an

Temperatur um einen Grad zuzunehmen, sehr viel weniger Wärme als Quecksilber; es braucht dagegen 79mal diesen Wärmebetrag, um aus Eis von 0 Grad in flüssiges Wasser von 0 Grad, und etwa 600mal denselben, um aus Wasser von 100° in Dampf von 100° überzugehen. So große Wärmemengen werden mithin aufgebraucht, um die 'innere Arbeit' der Verwandlung eines Aggregatzustandes in einen andern hervorzubringen, und gehen für die Wärmewirkungen des Körpers nach außen, also für seine Temperatursteigerung verloren.

Umgekehrt wird nun eine große Masse von der Geschwindigkeit v sehr viele Widerstände überwinden und ihnen bemerkliche Geschwindigkeiten mitteilen können, ohne selbst an ihrer eignen schnell sehr viel einzubüßen. Ebenso wird ein Körper, der sehr viel Wärme brauchte, um einen bestimmten Temperaturgrad zu erreichen, nach außen beträchtliche Wärmewirkungen ausüben und es wird lange dauern, bis seine eigne Temperatur bedeutend abnimmt.

In dieser allgemeinen Weise lassen sich diese Thatsachen der 'specifischen oder latenten Wärme' leicht vorstellen und zu den praktisch so wichtigen Folgerungen benutzen, welche uns lehren, wie gewisse Quantitäten von Wärme die Quellen ganz bestimmter 'Äquivalente' von mechanischer Kraft werden, und wie die Wirkungen mechanischer Kräfte wieder bestimmte Äquivalente von Wärmewirkungen hervorbringen können. Im einzelnen bleibt jedoch vieles dunkel, und es ist nicht möglich, die hier vorkommenden Vorgänge konstruktiv aus den Wechselwirkungen der eigentlich wirksamen Elemente abzuleiten.

§ 59.

Die philosophische Lieblingsmeinung, Chemismus sei ein völlig anderes, als Mechanismus, wird nur in beschränktem Sinn haltbar sein. Wir kennen unmittelbar bloß die Stoffe vor und nach ihrer Verbindung und einige Erscheinungen, die den Akt der Verbindung begleiten. Ihn selbst beobachten wir nicht. Man kann

daher nur auf ihn zurückschließen, besonders aus der Natur der Produkte.

Unterscheidet man nun 'chemische Mischungen' von 'bloßen Gemengen' durch ihre Gleichartigkeit, so würde dieser Gedanke nur scharf sein, wenn man annähme, zwei Elemente A und B durchdrängen sich in demselben Punkte des Raumes und bildeten ein C, in welchem weder A noch B fortexistierten, aus welchem aber unter Bedingungen A und B wieder entstehen könnten. Dieser an sich mögliche Gedanke ist schon um der Thatsache der 'Isomerie' willen ganz unbrauchbar. Denn wie dieselben Mengen derselben Stoffe verschiedene Produkte erzeugen sollten, ist unter Voraussetzung solcher räumlichen Durchdringung gar nicht, sondern nur durch bleibende Stellungsverschiedenheiten der getrennt bleibenden Elemente begreiflich.

Nennt man ferner 'chemisch' die Verbindungen, die durch mechanische Kräfte nicht trennbar seien, so würde auch dieser Gedanke unzweideutig nur, wenn er meinte, die chemische Verbindung AB sei nur durch die 'chemische Affinität' eines dritten Elements C trennbar, das etwa dem A mehr verwandt sei, als B. Dies würde faktisch unrichtig sein: nicht bloß die Wärme, sondern auch ein Druck, der z. B. zusammengesetzte Gase durch feinporöse Körper treibt, reicht zur Trennung zugestanden 'chemischer' Verbindungen aus.

§ 60.

Die 'chemischen Verbindungen' sind ferner durch die Proportionalität ihrer Bestandteile ausgezeichnet. Sind A, B, C drei Elemente, a, b, c bestimmte relative Mengen derselben, m, p, q die ersten ganzen Zahlen der Zahlenreihe, so sind m.aA, p.bB, q.cC diejenigen Gewichtsmengen, die untereinander überhaupt chemische Verbindungen eingehen.

Dies Verhalten ist am einfachsten erklärbar, wenn man den unteilbaren Atomen von A, B, C die relativen Gewichte a, b, c zuschreibt, womit gar nicht notwendig der Gedanke verbunden ist,

daß diese verschiedenen Atome wieder aus verschiedenen Mengen gleichartiger Materie bestehen müßten. Man kann a, b, c als die von den einfachen Qualitäten der Elemente herrührenden Intensitäten des Wirkens und des Trägheitswiderstandes betrachten, durch welche sie bestimmten Mengen einer gleichartigen Materie nur äquivalent werden. Daß nun aber die Zahlen m, p, q nur klein sind, also ein Atom eines Elements sich nur mit einem oder sehr wenigen eines andern chemisch verbindet, führt auf einen der Chemie eigentümlichen Begriff der 'Sättigung'.

§ 61.

Mechanisch setzt man voraus, daß jede noch so große Masse durch jede noch so kleine Kraft bewegbar sei, daß also keine Kraft ihre Wirkung bloß auf ein gewisses Quantum von Materie ausdehne, gegen ein größeres aber wirkungslos sei, daß endlich alle Kräfte unter allen Umständen die ihnen eigentümliche Wirkungstendenz unverändert beibehalten und daß nur im Effekt sich das aufhebt, was in den Einzeleffekten entgegengesetzt ist.

Diese Annahme ist durchaus nicht allein möglich. Es ist völlig zulässig und im Zusammenhange unserer früheren Ansichten eigentlich wahrscheinlich, anzunehmen, daß durch die zwischen A und B stattfindende Wechselwirkung die inneren Zustände beider Elemente so geändert sind, daß eine weitere Tendenz des A, gegen noch mehr Mengen des B zu wirken, oder des B, auf ein außer dieser Verbindung AB gelegenes Quantum von A zu wirken, gar nicht mehr besteht [Analogie psychischer Vorgänge]. Dann würde die Anziehung eines bestimmten Quantums B gegen ein Element A sehr lebhaft sein können bis zu dem Augenblick, wo B ein bestimmtes Quantum von A mit sich vereinigt hat; dann aber würde B 'gesättigt' sein.

§ 62.

Will man die gewöhnlichen mechanischen Vorstellungen beibehalten, so würde man sagen müssen, daß ein Atom des Elements

A eigentlich die ganze unendliche Menge des in der Welt vorhandenen Elements B anzieht, mit bemerklicher Wirkung freilich bloß eine geringe benachbarte Schicht von B, diese aber ihrer ganzen Menge nach und ohne sich auf ein bestimmtes Gewichtsäquivalent derselben zu beschränken. Allein eine solche Anziehung würde zunächst bloß ein chemisches Ereignis, aber noch kein chemisches Produkt sein. Zu einem beisammen bleibenden Körper, der wenigstens innerhalb eines gewissen Spielraums veränderlicher äußerer Bedingungen (der Temperatur, des Druckes ꝛc.) sich im Gleichgewicht befände und deshalb der Wiederzersetzung durch diese Bedingungen widerstände, brauchen sich zuletzt doch mit dem Atom des A nur ganz bestimmte Gewichtsmengen von B verbunden zu haben.

§ 63.

Es ist gegenwärtig unmöglich, die Bedingungen namhaft zu machen, denen ein solches in Gleichgewicht befindliches chemisches Produkt zu genügen hätte, sowie die Kräfte, durch deren Wirksamkeit es zustande kommt.

Wir wissen zunächst nicht, in welcher Form die chemischen Elemente zur Wirksamkeit gelangen, ob als einzelne Atome oder ob als kleine Systeme verbundener Atome. Man hat zwar gute Gründe, diese Frage für einzelne Fälle zu entscheiden, aber man kennt um so weniger die Kräfte, die dann vor dem chemischen Akt die Atome eines solchen 'Moleküls' zusammenhalten und von denen anderer Elemente überwunden werden müssen.

Man findet ferner den chemischen Prozeß immer mit Veränderungen der Wärme und der Elektricität verbunden. Aber alle Vorstellungen sind noch sehr willkürlich, die man sich über den Zusammenhang der sogenannten Imponderabilien oder der ihnen substituierten Bewegungsformen mit den ponderabeln Elementen macht.

Die Intensität der chemischen Anziehung zwischen verschiedenen Elementen ist nur teilweise und empirisch bekannt und läßt sich

in kein einfaches Verhältnis zu dem uns bekanntesten Charakter der Elemente, zu ihrem Atomgewicht bringen, obgleich sicher eine solche Abhängigkeit in irgend einer Weise stattfinden wird.

Diese Umstände verhindern es, den Stillstand der chemischen Thätigkeit nach Erreichung einer gewissen 'Sättigung' zu erklären. Man ist darauf beschränkt bei der Thatsache stehen zu bleiben, daß jedes Element eine gewisse 'Wertigkeit' oder eine gewisse Anzahl von 'Verwandtschaftseinheiten' besitzt, d. h. daß es nur 2, 3 oder 4 Atome des Wasserstoffs oder der ihm äquivalenten 'einwertigen' Elemente zu binden vermag, nicht immer aber dieses Maximum seiner Sättigung erreicht, abgesehen davon, daß auch diese Anzahl der Verwandtschaftseinheiten nicht ganz konstant ist, sondern (z. B. mit der Temperatur) sich ändert.

Fügt man zu dieser Thatsache die weitere Vorstellung, daß in einem chemischen Produkte nicht alle Elemente, die zu seiner Konstitution gehören, unmittelbar aufeinander wirken, sondern kettenartig verknüpft sind, so daß etwa A mit C nur durch B, mit F aber nur durch D und E zusammenhängt, so erhält man eine große Anzahl möglicher 'Zusammensetzungstypen', in denen außerdem ein Element durch ein 'gleichwertiges' anderes ersetzt werden kann.

§ 64.

Man wird annehmen können, daß die chemischen Affinitäten der auf solche Weise verbundenen Elemente mit ihren Wirkungen über das System hinaus reichen, welches durch sie zusammengesetzt wird, und daß diese resultierenden nach außen gehenden Wirkungen die Molekularkräfte vorstellen, durch welche eine Anzahl gleichartiger oder auch ungleichartiger Systeme zu einem bestimmten Aggregatzustande verbunden werden.

Im Grunde ist die Frage eigentlich gegenstandslos, ob diese Kräfte identisch mit den Affinitäten sind, oder nicht. Sie sind es insofern natürlich nicht, als sie keine chemische Wirkung hervorbringen. Allein es ist allgemein, wie schon früher erwähnt, eine

ganz unzulässige Vorstellungsweise, von einer Mehrzahl verschiedener Kräfte zu sprechen, die den Substanzen von Haus aus zukämen und sich in die verschiedenen Geschäfte derselben teilten. Das Wirksame ist immer nur die Natur der Substanzen selbst in ihren wechselnden Beziehungen zu der Natur anderer Substanzen. In diesem Falle also die qualitative Eigentümlichkeit der chemischen Elemente, die unter bestimmten Bedingungen chemische Effekte hervorbringen, unter andern Bedingungen nur mechanische, ohne auch in diesem letztern Falle etwas anderes zu sein, als der Ausdruck dessen, was eben unter diesen Bedingungen aus der Natur der Elemente entstehen mußte.

§ 65.

Aus Systemen verschiedener Elemente, die also an verschiedenen Punkten 'Pole' verschiedener Wirkung nach außen enthalten, würden sich die Haupteigenschaften des starren Aggregatzustandes: der Widerstand gegen Zusammendrückung, gegen Zerreißung und gegen Verschiebung der Teile, sowie die elastischen Rückwirkungen gegen diese Änderungen begreifen lassen.

Nicht begreiflich wäre dagegen der feste Zustand völlig homogener Elemente, z. B. der Metalle, bei denen sich nicht einsehen läßt, woher ein tangentieller Widerstand gegen Verschiebung zweier Teilchen aneinander entstehen sollte. In der That haben diese Stoffe die ausgezeichnete Eigenschaft der Dehnbarkeit und Hämmerbarkeit, halten also eine neue Lage der Atome, die ihnen freilich nur durch große Kräfte gegeben werden kann, ebenso fest wie ihre frühere.

Durch eine Menge Mittelstufen der 'Zähigkeit' geht der feste Zustand in den flüssigen über, dessen völligen Mangel an Verschiebungswiderstand, aber großen Widerstand gegen Kompression und Mangel an Ausdehnungsbestreben man zwar anführen, aber ebensowenig erklären kann, als die Repulsion, mit welcher die Elemente eines Gases jeden ihnen dargebotenen größeren Raum zu erfüllen streben.

Sechstes Kapitel.

Von den Principien der organischen Natur.

§ 66.

Die noch immer aufgeworfene Frage, ob das organische Leben aus mechanischen Principien oder nur durch ein eigentümliches, höheres zu begreifen sei, findet die nächste Grundlage ihrer Beantwortung in der Thatsache, daß das Leben sich nicht in einer Welt für sich, sondern aus jener unorganischen Umgebung entwickelt und in beständiger Wechselwirkung mit derselben bleibt. Die Stoffe, welche zu dem Aufbau und dem Dienst lebendiger Körper verwandt werden, finden sich alle auch außerhalb des Lebens vor und unterliegen hier den bekannten mechanischen und chemischen Gesetzen. Sie können daher auch für das Leben nur dann verwandt werden, wenn die hierzu nötigen Modifikationen ihrer Natur und Wirkungsweise ihnen nach demselben allgemeinen mechanischen und chemischen Rechte abgezwungen werden, nach welchem sie ein für allemal behandelt zu werden verlangen.

Man hat dies in der That immer eingesehen und die Geltung mechanisch-chemischer Gesetze nicht überhaupt geleugnet, wohl aber behauptet, es komme eben in dem lebendigen Körper etwas hinzu, was imstande sei, und zwar allein imstande sei, diese Modifikationen, gleichfalls auf gesetzlichem Wege, hervorzubringen. — Drei bestimmtere Formen hat man diesem Etwas gegeben: die eines Stoffes, einer Kraft und einer zwecksetzenden Idee.

§ 67.

Könnte man einen eigenen 'Lebensstoff' nachweisen, aus dem Moose und Palmen, Infusorien und Meerungeheuer entständen, so würde die Hauptaufgabe noch ganz ungelöst sein; nämlich: die Bedingungen nachzuweisen, unter denen dieser identische Stoff so enorm verschiedene Produkte erzeugt. Nachweisbar ist er indessen über-

haupt nicht. Wir kennen *thatsächlich* nur eine kleine Anzahl *zusammengesetzter* Stoffe, die überall teils zur Gestaltbildung, teils zu den Funktionen der organischen Wesen verwandt sind; und zwar sind es solche, die aus Elementen von einer unter den gewöhnlichen Bedingungen nur schwachen, aber vielseitigen Verwandtschaft bestehen und deshalb sich zu der Mannigfaltigkeit der Umbildungen, zu der leichten Veränderlichkeit unter geringen Reizen und zu der leichten Neuerzeugung eignen, welche zu den Bedürfnissen des organischen Lebens gehören.

§ 68.

Die Vorstellung von einer '*Lebenskraft*' fand einen ersten Unterschied derselben von den *mechanischen* Kräften darin, daß sie in der Fortpflanzung *ohne Schwächung ihrer Intensität* sich ausbreiten und *vervielfältigen* könne.

Allein schon das Beispiel einer *Flamme* zeigt, wie dies 'mechanisch' möglich ist. Der *erste Funke* enthält nicht fertig die Intensität *derjenigen* Kraft, welche dann allein die großen Effekte einer Feuersbrunst hervorbrächte. Er giebt bloß durch die Wärme, die er der brennbaren Umgebung mitteilt, den in dieser schon enthaltenen, aber unthätigen Affinitäten zum Sauerstoff *Veranlassung* zu einer chemischen Wirksamkeit, bei der dann neue Wärmemengen entstehen, die *wieder* die gebundenen Kräfte der weiteren Umgebung frei machen. Ebenso verbreitet sich die 'Lebenskraft' der Organismen durch Annektierung äußerer Stoffe, welche die lebendige Masse vergrößern und dann, sich von ihr ablösend, zu Ausgangspunkten *neuer* Bildungen werden.

Und hierzu ist nicht nötig, daß die Lebenskraft diese Stoffe *aufsuche* und durch überlegene Macht *bändige*; vielmehr drängen sich dieselben mit den 'Verwandtschaften', die sie zu den Elementen der Organismen haben, in der Luft oder dem Erdboden als gegeben *von selbst* herbei. Und jene 'Annexion' ist das Produkt der Wechselwirkung dieser beiden Parteien.

§ 69.

Man behauptet ferner: die 'Lebenskraft' allein überdauere ungestört den Wechsel der materiellen Bestandteile.

In der That überdauert sie den Wechsel einiger, solange die Summe der übrigen noch hinreicht, um die notwendigen Funktionen zu verrichten; und der allgemeine Habitus des 'Lebens' ändert sich in diesen Fällen nicht. Dagegen die Größe der Leistungen und des Widerstandes, den der Organismus nach außen bethätigen kann, schwankt ganz nachweisbar nach dem Wechsel der Bestandteile, von denen nur überhaupt nicht alle gleich viel Wert für das Gleichgewicht des ganzen Systems haben.

Genau dasselbe aber kann man an zahlreichen unorganischen Konstruktionen technischer Art beobachten.

§ 70.

Es wird drittens der 'Lebenskraft' zugeschrieben: die chemischen Affinitäten zu Verbindungsweisen zu bestimmen, welche die Elemente von selbst nicht eingehen und nach dem Aufhören des Lebens nicht beibehalten können.

Daß dies ternäre oder quaternäre Verbindungen im Gegensatz zu den unorganischen binären seien, wird jetzt nicht mehr hervorgehoben. Aber überhaupt zeigt z. B. das Holz, das Horn u. a., daß die Behauptung von der Vergänglichkeit organischer Substanzen nach dem Tode ganz übertrieben ist und eigentlich nur auf einige wenige paßt.

Dann aber ließe sich weiter behaupten, daß dieselben Zersetzungen, die nach dem Tode die Fäulnis bewirken, auch während des Lebens beständig stattfinden, nur in einer geregelten Form; nämlich so, daß durch verschiedene Funktionen, die nach dem Tode hinwegfallen, beständig das eben Zersetzte aus dem Körper eliminiert und dadurch die zerstörenden weiteren Wechselwirkungen dieser Produkte verhindert werden, zugleich aber durch Respiration und Ernährung ein beständiger Ersatz an die Stelle des Verbrauchten tritt.

Endlich glaubt die neueste Zeit gefunden zu haben, daß die angebliche 'Vergänglichkeit' organischer Substanzen überhaupt nicht von selbst stattfindet, d. h. nicht auf einem inneren Ungleichgewicht dieser Verbindungen beruht, dem nur die 'Lebenskraft' entgegenwirkte, daß vielmehr bloß die chemische Einwirkung niedriger Pflanzen- und Tierformen, die sich in diesen Stoffen und auf ihre Kosten entwickeln, den Zerfall derselben in andere chemischen Verbindungen hervorbringt.

§ 71.

Man unterscheidet weiter: eine physische Kraft suche stets dieselbe Wirkung zu entfalten, und ihre Intensität sei nur von Masse und Entfernung abhängig; die Lebenskraft dagegen verrichte nicht nur gleichzeitig an verschiedenen Stellen des Körpers sehr verschiedene Geschäfte, sondern accommodiere sich auch den Umständen so, daß sie der Zeit nach bald diese, bald jene Wirkung erzeuge, bald etwas von ihrer möglichen Leistung zurückhalte, bald wieder mehr zu thun strebe, als sonst; dies alles aber so, daß sie als 'Heilkraft' den Bestand und das Gleichgewicht des Organismus gegen unregelmäßig einwirkende äußere Störungen aufrecht erhalte.

Allein diese 'Heilkraft' würde etwas Eigentümliches nur haben, wenn sie allgemein und unbegrenzt wäre. Sie reicht in der That jedoch nur soweit, als in der einmal feststehenden Organisation des Körpers glückliche Einrichtungen vorhanden sind, die, durch einen äußern Reiz angeregt, Rückwirkungen entwickeln, welche den Reiz selbst wieder zu beseitigen imstande sind. Und auch diese Einrichtungen wirken nur in gewissen Grenzen nützlich und bringen darüber hinaus, weil dann ihr Wirken nicht aufgehalten werden kann, oft genug schädliche Effekte hervor. In keinem Fall aber entsteht im Augenblick des Bedürfnisses eine zweckmäßige Reaktion ganz neu, die nicht zugleich anderseits der notwendige Erfolg aller vorhandenen Umstände wäre.

Endlich liegt es eigentlich schon in dem Begriffe einer 'zweckmäßig' wirkenden Kraft, daß sie, um sich nach den Umständen richten zu können, etwas von diesen leidet, und zwar von verschiedenen verschiedenes. Das 'Leiden einer Kraft' aber ist eine ganz unausführbare Vorstellung. Nur reelle Elemente können leiden; und aus den verschiedenen Stellungen, die sie dann infolge ihrer inneren Zustände zu einander einnehmen, können ihnen andere Kräfte entstehen, als sie in einem vorigen Augenblick besaßen, so daß jene 'heilende' oder 'zweckmäßig wirkende' Kraft immer nur die Resultante aus den einwirkenden Bedingungen und aus den Organisationsverhältnissen sein wird, auf welche diese einwirken.

§ 72.

So lange man das Princip des Lebens in der Form einer 'Kraft' auffaßt, bleibt die Frage zu beantworten, wem sie eigentlich angehört. Die Erfahrungen führten natürlich dahin, daß sie nicht allen Teilen des Körpers in gleichem Sinne zukomme, daß viele von diesen nur von ihr beherrscht werden, sie selbst aber nur in wenigen residiere. In den Tieren erschien das Nervensystem als dieser Sitz, für die Pflanzen war aber keiner angebbar. Daher entstand der Wunsch, die 'Lebenskraft' als etwas Eignes dem Körper gegenüber zu stellen.

Da aber eine 'Kraft' ohne Substrat unvorstellbar ist, so gab man jetzt diesem Princip den etwas dunkleren Namen der 'Idee der Gattung', welcher die wirksame Thätigkeit zugeschrieben wurde, Bau und Funktionen des Körpers nach einem einheitlichen Plane zu verwirklichen. Mit Aristoteles behauptete man, in dem Unlebendigen entstehe das Ganze aus den Teilen und diese gingen ihm voran, in dem Organismus gehe das Ganze voran und aus ihm entstünden die Teile. Natürlich sollte dies 'Ganze' nicht als reell existierend, sondern 'nur potentialiter' vorausgehen und die gegebenen Teile gestalten.

Eine weitere Kritik dieser Aristotelischen Vorstellung läuft indes

darauf hinaus, daß das, was 'nur potentiâ' existiert, in der That gar nicht existiert, sondern daß anstatt seiner etwas anderes realiter vorhanden ist, woraus unter bestimmten Bedingungen jenes angeblich 'potentiell' bereits Seiende künftig als ein unvermeidliches Produkt hervorgehen wird. In dem Samenkorn einer Pflanze existiert wirklich nichts, als eine Anhäufung chemischer Elemente in bestimmten Lagerungsverhältnissen. Sie sind aber so geordnet, daß unter Zutritt von Wärme, Luft und Feuchtigkeit sie ihr Gleichgewicht nicht bewahren können, sondern in eine Reihe von Bewegungen und Wechselwirkungen mit den umgebenden Stoffen übergehen müssen, die eben das bildet, was wir das 'Leben' dieser bestimmten Gattung nennen.

§ 73.

Es bliebe daher noch die Frage, wem die 'zweckmäßige' Kraft angehören soll, wenn sie nicht bloß die unvermeidliche Resultante der Einzelwirkungen aller gegebenen Elemente sein soll.

Spricht man von einer 'wirksamen Idee', so drückt man damit nur halb aus, was man meinen muß. Denn wenn schon das Wirken mit dem Begriff einer 'Idee' nicht wohl vereinbar ist, so noch weniger das 'Leiden' oder die Afficierbarkeit durch äußere Störungen, die wir ihr doch zuschreiben müßten, wenn sie dieselben 'zweckmäßig' kompensieren soll.

Das nun, was wirkt und leidet, ist eben das, was wir ein Wesen nennen. Man würde also als 'Träger' jener Kraft nur eine geistige Substanz ansehen können, die nicht identisch wäre mit der 'Idee der Gattung', sondern für welche diese Idee nur die Regel ihres Verhaltens bildete.

Auch dies ist geschehen: man hat die Seele für die 'Baumeisterin des Leibes' erklärt.

Nun wissen wir empirisch nur, daß in dem ausgebildeten Körper die Seele unmittelbar Lagenveränderungen der Elemente der Muskelfasern, sekundär aber durch Veränderung der Bewegungsge-

wohnheiten auch Änderungen der Gestalt in geringem Maße hervorbringt. Jene Wirksamkeit könnte man sich bei der ersten Bildung des Körpers in Bezug auf die noch verschiebbaren Teile des Keimes allerdings viel größer denken. Allein man hoffte doch, daß der der Seele eigene Charakter der Vernünftigkeit die durchdringende Zweckmäßigkeit des Organismus besser erklären werde, als bloß mechanische Vorgänge. Diesen Charakter hat aber die Seele in jener Zeit nicht, wo sie ihn bedürfte: weder Bewußtsein, noch Kenntnis von Zwecken, noch eine Vorstellung der Mittel zu ihrer Erfüllung.

Als 'Baumeisterin' also könnte die Seele nicht gelten; dagegen könnte sie immer ein notwendiges und ein durch seine Natur bevorzugtes Glied der Gruppe von Elementen sein, aus deren Zusammenwirken der Organismus entstände, so daß sie hier zwar nur unbewußt und mit mechanischer Notwendigkeit wirkte, aber doch diejenigen entscheidenden Wirkungen hervorbrächte, ohne welche die übrigen Elemente nicht zu diesem 'zweckmäßigen' Resultate kommen würden.

Auch diese Vorstellungsweise endlich bedarf einer Umformung; denn sie gilt nur für Tiere, und nur nach unbegründeten Phantasien auch für die Pflanzen. Um sie allgemein brauchbar zu machen, würde man versuchen müssen, in alle Elemente eine Prädisposition zu diesem 'zweckmäßigen' Wirken zu legen. Wie dies geschehen kann, untersuchen wir später. Für jetzt nehmen wir an, daß das Leben nur als die Folge der Kombination mechanisch und chemisch wirkender Elemente zu betrachten sei.

Siebentes Kapitel.

Von den Formen der lebendigen Prozesse.

§ 74.

Giebt man diese Voraussetzung zu, so pflegt man doch hinzuzufügen: dann sei der lebendige Körper wenigstens 'ein Mechanismus, der sich selbst aufzieht', während alle Maschinen sonst neuer Zufuhr der Bewegung bedürfen.

Diese Vorstellung ist gar nicht korrekt. In dem Umlauf eines Planeten sehen wir ein Beispiel eines 'sich selbst aufziehenden' Mechanismus: die Bewegung selbst bedingt es, daß der Planet an demselben Orte o stets dieselbe Richtung und Geschwindigkeit wieder erlangt, die er an demselben Orte früher hatte. So könnte dies Spiel sich unendlich fortsetzen, und die Sonne und der Planet würden zusammen ein 'geschlossenes System' bilden, das alle Bedingungen seiner Bewegung in sich selbst hat, von außen aber keine Beihülfe, sondern bloß Störung erwarten kann.

Der lebendige Körper dagegen ist nur die Hälfte eines zusammengehörigen Systems. Die andere Hälfte liegt außer ihm, freilich gestaltlos: in all den ihn umgebenden Elementen und Bewegungen, die ihm als 'Lebensreize' unentbehrlich sind, in der Luft, der Feuchtigkeit, der Wärme, dem Licht und den assimilierbaren Nährstoffen. Es ist richtig, daß der Organismus (im Grunde aber doch bloß der tierische) gewisse Funktionen ausübt, durch welche er sich für die Wechselwirkung mit diesen äußeren Stoffen vorbereitet oder sich ihrer bemächtigt. Aber er kann sie doch nie ersetzen, wo sie fehlen, und bleibt also ein 'offenes System', welches nicht bloß Störungen, sondern auch die wesentlichsten Ergänzungen von außen erwartet.

§ 75.

Auch dies ist irrig, dem Organismus einen so engen Zusammenhang aller seiner Teile zuzuschreiben, daß die kleinste Störung des einen sofort Widerhall fände in allen andern.

Keine Einrichtung könnte verkehrter sein für ein System, das unter veränderlichen Umständen sich entwickeln und außerdem vielleicht noch etwas leisten soll. Auch ist es nicht so. In dem Planetensystem freilich, in welchem fernwirkende Kräfte herrschen, würde jede Verschiebung des einen Planeten eine korrespondierende Verrückung aller andern bewirken; in den organischen Systemen dagegen sind die Teile allgemein bloß durch Molekularkräfte ver-

bunden, die nur auf kleinste Entfernungen wirken. Daher pflanzen sich die Störungen eines Teils nur mittelbar, langsam und abgeschwächt auf andere fort, und es entsteht so die für das Leben notwendige Gleichgültigkeit der Teile füreinander.

Wo diese für die Zwecke des Lebens nicht stattfinden soll, wird sie durch ganz besondere Vorkehrungen erst wieder aufgehoben, z. B. durch das Gefäßsystem und das Nervensystem der Tiere.

§ 76.

Der Organismus ist ferner ein System mit veränderlichen Massen, während alle unsere künstlichen Maschinen bis jetzt mit unveränderten Getrieben höchstens chemische Veränderungen des bearbeiteten Objektes bezwecken. — Es sind drei Funktionen, die diese Veränderungen verlangen: Wachstum, Ernährung und Fortpflanzung, die drei unterscheidenden Vorgänge, durch die das Lebendige sich auszeichnet.

Allerdings nehmen unorganische Körper bisweilen an gleichartiger Masse zu. Allein dies geschieht immer bloß durch die Kräfte, die von den Oberflächenschichten ausgehen. Es kann ferner auch bei der geordnetsten Form dieses Wachstums, der Krystallisation, die eine Fläche durch Ansatz wachsen ohne gleichzeitige Zunahme der andern. Es findet endlich niemals eine Metamorphose der schon gebildeten Teile zum Zweck dieser Vergrößerung statt.

Dies faßt man dahin zusammen: Unorganisches wachse durch 'Apposition', das Lebendige aber durch 'Intussusception'. Dieses letztere bedeutet nicht bloß den an sich auch wichtigen Umstand, daß die Wachstumsmittel in das Innere des Organismus aufgenommen werden, sondern auch den noch wichtigeren Gedanken, daß nun dieses Material in den Plan des Organismus aufgenommen und den einzelnen Teilen in denjenigen Proportionen zugeführt wird, in denen sie desselben nach diesem Plane bedürfen. Endlich findet nicht eine 'Apposition' des Gleichartigen statt, denn weder die Pflanzen noch die Tiere verwenden die aufgenommene Nahrung

unmittelbar zum Bau des Körpers, sondern überall werden die aufgenommenen Stoffe chemisch verwandelt und assimiliert, also auch in diesem Sinne in den Körper 'intussuscipiert'.

§ 77.

Bis hierher war nur Stoffaufnahme notwendig. Der Grund zu einer Ausfuhr, also zum 'Stoffwechsel' liegt teils darin, daß schon die Pflanze ihre vegetabilische Substanz aus den unorganischen Elementen bilden muß und dabei unbenutzbare Stoffe als wiederauszuführende Nebenprodukte abfallen können; teils darin, daß manche Stoffe, z. B. vor allem das Wasser, nicht eigentlich um ihrer selbst willen aufgenommen werden, sondern um chemische Einwirkungen zu erleiden und hervorzurufen, durch welche gewisse Bewegungszustände, deren das Wachstum als mechanischer Triebkräfte bedarf, erzeugt werden; endlich auch darin, daß gar nicht allgemein während des Wachstums das früher Gebildete unverändert bleibt, vielmehr eine große Menge rückgängiger Prozesse der Wiederauflösung und Umformung vor sich gehen, bei denen wieder unbenutzbare Nebenprodukte zum Vorschein kommen.

Bei alledem beschränkt sich der Stoffwechsel der Pflanze im Wesentlichen auf den Austausch von Sauerstoff und Kohlensäure und auf den massenhaften Durchgang von Wasser.

§ 78.

Im Tierkörper kommt die neue Aufgabe hinzu, aus regellos eintretenden 'Eindrücken' und aus 'Willensimpulsen', die wenigstens keiner physikalischen Regel folgen, Bewegungsleistungen hervorzubringen.

Jede solche Funktion ist eine Störung des Gleichgewichts, das sich um deswillen nicht von selbst herzustellen scheint, weil diese Störung mit einer chemischen Zersetzung der funktionierenden Substanz verbunden ist, der Tierkörper aber weder die Stoffe, die er zur Wärmeerzeugung braucht (Kohlenhydrate), noch auch diejenigen, die seinen Lebensleistungen dienen (Eiweißkörper), aus den Elemen-

ten bilden kann, sie vielmehr gebildet aus dem Pflanzenreich aufnimmt und daher auch nicht vermag sie wieder zu normalisieren, wenn sie durch die Funktionen zersetzt worden sind. Sie werden vielmehr ihrem Schicksal überlassen und als 'Auswurfstoffe' entfernt. Und eben deswegen ist hier ein beständiger Wiederersatz notwendig.

Die Wichtigkeit, die hierbei der Sauerstoff hat, da seine Aufnahme und die Ausgabe von Kohlensäure durch das ganze Tierreich geht, mag zuerst darin liegen, daß er den Zerfall des Zersetzten beschleunigt; dann darin, daß er die zu allen Lebensfunktionen notwendige Wärme durch Verbrennung erzeugt; endlich aber auch darin, daß die chemischen Prozesse, die er hauptsächlich in Gang bringt, während ihres Geschehens verschiedenartige Bewegungen der kleinsten Teilchen hervorbringen, die auf die Nerven übertragen den Grund z. B. für die verschiedenen Empfindungen enthalten.

§ 79.

Von mechanischen Mitteln, durch welche der Vertrieb des aufgenommenen Nahrungsstoffes bewirkt wird, kennen wir in den Pflanzen nur die Molekularanziehung zwischen dem Inhalt der Wurzelzellen und der Bodenflüssigkeit, sowie zwischen den Inhalten der verschiedenen Zellen untereinander. Durch sie in Verbindung mit dem Druck, den nur die Kohäsion der Zellenwände und zwar nicht nach allen Seiten gleichmäßig ausübt, muß der Auftrieb des Saftes besorgt werden; und die reichliche Verdunstung von den Blattflächen bedingt die Forsetzung dieses Vorgangs. In den Tierkörpern höherer Ordnungen dagegen sehen wir die eigentlich maschinenmäßigen Mittel verwendet: kontraktile Pressen mit Ventilen, Herstellung luftleerer Räume, um nach ihnen hin Gase und Flüssigkeiten zu treiben — wie denn auch in Bezug auf Bewegungen der Glieder gerade im Tierkörper die Vorrichtungen des Hebels, allerhand Schraubengelenke u. dergl. allein vorkommen, wogegen die ganze unorganische Natur kein Beispiel ihrer Anwendung hat.

Von dem weiteren wissen wir wenig. Daß der Ansatz der Nahrungsstoffe da geschieht, wo er notthut, muß darauf beruhen, daß eben nur die in ihrer chemischen Zusammensetzung zerrütteten Bestandteile des Körpers einen anziehenden Effekt auf jene Stoffe ausüben, wovon die allgemeine Möglichkeit mechanisch leicht begreiflich, die wirklich stattfindenden Einrichtungen dagegen ganz unbekannt sind.

Endlich die Assimilation, durch welche der Ersatzstoff dem Gewebe gleich wird, das er regenerieren soll, braucht zwar nicht als ein Vorgang zu gelten, welcher die gewöhnlichen physisch-chemischen Kräfte überstiege, allein auch hier läßt sich nur die allgemeine Möglichkeit begreifen, daß die Einwirkungen, die von einer Umgebung A auf den Ersatzstoff B geschehen, die noch beweglichen Teile dieses B in eine dem A gleiche Form der Verknüpfung überführen. Aber die bestimmten Einrichtungen, durch welche gerade dieses Resultat gesichert wird, sind ganz unbekannt.

§ 80.

Der Organismus ist endlich ein 'System veränderlicher Massen' nicht bloß so, daß die neuen an die Stelle der alten treten, sondern in beständiger Entwicklung so begriffen, daß die verschiedenen Teile in verschiedenem Maße allerdings ihre chemische Natur und ihre gegenseitige Stellung ändern; aber auch so, daß in dieser sehr mannigfaltigen Reihe von Umgestaltungen irgendwie zuletzt ein neues System von Massen gebildet wird, aus welchem unter gleichen Entwickelungsbedingungen dieselbe Reihe von Phänomenen aufs neue beginnt.

Eine mechanische Konstruktion dieses ganzen Verlaufs ist noch vollkommen unmöglich. Erfahrungsmäßig aber müssen die hierzu nötigen Bedingungen in der Natur einer einzigen befruchteten 'Keimzelle' bereits gegeben sein. In den Pflanzen ist es ein stickstoffhaltiger Stoff, das 'Protoplasma', welcher in der eigentümlichen Verbindung mit Wasser, die den zu aller Gestaltung nötigen Zu-

stand der Feuchtigkeit bedingt, einerseits die Zellenwandung aus Cellulose, nach innen aber den flüssigen Zelleninhalt abscheidet. Es bleibt nur die Annahme denkbar, daß jenes 'Protoplasma' chemisch aus einer ziemlich verwickelten Verkettung vieler Atome besteht, welche eine große Menge von Stellungsverschiebungen erfahren und dadurch bei der allgemeinen Gleichartigkeit der Zusammensetzung doch die Bedingungen für außerordentlich verschiedene Weiterentwicklungen der Zelle enthalten kann. Man kennt diese vielen Umformungen; allein sie bilden bis jetzt nur einen Gegenstand naturwissenschaftlicher Beschreibung und es fehlt an jedem Anhalt, um die mechanischen Bedingungen sich zu denken, unter denen teils die einzelne Zelle verschiedene Gestalten annimmt, teils aus einer sich durch Teilung oder durch Neuentstehung im Innern oder sonstwie mehrere neue bilden, endlich die verschiedenen mit bestimmten Formen der Aneinanderlagerung größere Gebilde zusammensetzen. —

Ganz ebensowenig wissen wir in Bezug auf den Tierkörper.

§ 81.

Da wir auf mechanische Konstruktion verzichten müssen, so bleibt nur übrig, in den Formen, in denen die organischen Prozesse verlaufen, Spuren eines allgemeinen Planes oder gewisse typische Vorgänge aufzusuchen, durch deren Modifikationen die ganze Mannigfaltigkeit der verschiedenen Gebilde hervorgebracht wird.

Der Begriff eines 'vegetabilischen Individuums' läßt sich annähernd zunächst nur auf eine befruchtete Keimzelle anwenden. Das Ganze der sich entwickelnden oder ausgebildeten Pflanze stellt dagegen nur ein System oder eine Kolonie, überhaupt eine Gesellschaft von Zellen oder Zellengruppen vor, die äußerlich zusammenhängend, doch mit bemerklicher Selbständigkeit sich weiter entwickeln und dabei nur durch Gesetze der Aufeinanderfolge ihrer Produktionen und der gegenseitigen räumlichen Stellung beherrscht werden: entweder so, daß nach einer bestimmten Anzahl produzierter Gebilde und durchlaufener Bildungsstadien die Vegetationskraft er-

schöpft ist und nur durch den erzeugten Samen fortlebt; oder so, daß eine unbeschränkte Anzahl von Wiederholungen jener Gebilde und Bildungsperioden entsteht, die nur dann ein Ende nimmt, wenn die äußeren Bedingungen nicht mehr hinreichen, um das ganze so entstandene Gebilde zu erhalten oder fortzusetzen.

Bei dieser ganzen Vegetation ist in erheblicher Breite eine Verschiedenheit der Ausbildung möglich, so daß nur die Endformen der einzelnen Teile im ganzen feststehen, dagegen die Summe der zu ihrer Bildung verwandten Massen veränderlich sein kann.

§ 82.

Man kann nicht behaupten, daß in einer und derselben Pflanze oder daß in allen verschiedenen eine bestimmte Grundform der geselligen Verknüpfung von Zellen vorkomme, durch welche hindurch, bloß als Modifikationen dieses allgemeinen Typus, die verschiedenen Endgestalten der Organe und der ganzen Pflanzen entständen.

Nur der Prozeß der Zellenbildung überhaupt kommt allgemein vor; und es giebt gar keine Pflanze, die aus Stoffen gebaut wäre, welche nicht durch diese Anfangsform hindurchgegangen wären, aus deren Umwandlungen und Verbindungen auch die differentesten Gewebe entstehen.

Dagegen kann man sagen, daß alle möglichen Verbindungsformen der Zellen vorkommen, die in Betracht der äußeren Umstände, unter denen sie vegetieren sollen, überhaupt denkbar sind. So in den niedersten Pflanzengattungen Anhäufungen ursprünglich ganz gleichartiger Zellen, die ohne eine bestimmte Wachstumsrichtung sich allseitig ausbreiten und nur dadurch Verschiedenheiten annehmen, daß sie als oberflächliche oder innere, als peripherische oder centrale Bestandteile des sich so bildenden Aggregats den äußeren Bedingungen in verschiedenem Maße ausgesetzt sind. Es kommen ebenso Reihen von Zellen vor, die sich immer in gleicher Weise in einer Linie oder netzförmig verbreiten. Nur in den höheren Ausbildun-

gen des Pflanzenreichs tritt als ein hier allerdings sehr allgemeiner Gegensatz der zwischen einer aufwärts gerichteten Achse und seitlichen Organen hervor. Allein auch hier trifft dieser bloß morphologische Gegensatz nicht durchgängig mit einer physiologischen Verschiedenheit in den Funktionen beider zusammen. Und es war eine gewisse Zweideutigkeit der Ausdrücke, auf welcher die Annahme einer 'Pflanzen-Metamorphose' beruhte, nach welcher z. B. für alle seitlichen Gebilde das Blatt die typische Grundform sein sollte, aus deren Modifikationen die an Form und Funktion verschiedenen Organe der Blüte hervorgehen sollten.

Eben weil die Endgestalten der Organe durch das gleichförmige Mittel der Bildung von Zellenschichten und deren Umformung bestritten werden, so bilden sich als erste Anlagen der verschiedenen Organe flächenförmige Zellengruppen, welche morphologisch mit einer der vielgestaltigen Blattformen Ähnlichkeit haben und auch durch Absonderung von dem fortwachsenden Ganzen an dem Gegensatz der Blätter zu der Achse teilnehmen, aber die physiologischen Funktionen der Blätter nicht vollziehen und deshalb unter den Begriff derselben nur zweideutig subsumiert werden. Aus diesen noch indifferenten Anlagen können sich unter Umständen andere Bildungen entwickeln, als an dieser Stelle normal eintreten sollten; aber die einmal ausgebildeten Organe metamorphosieren sich nicht ineinander.

Die botanischen Bemühungen, zu entscheiden, ob ein Gebilde Produkt der Achse oder einer lateralen Entwicklung ist, suchen eigentlich die Reihenfolge zu bestimmen, in welcher jedes Organ, durch die bereits gebildeten und deren vegetative Thätigkeit bedingt, in der Entwicklung der ganzen Pflanze auftreten kann. Durch diese Entwicklungsgeschichte sind sie imstande, unter Rücksicht auf spätere Verkümmerungen, Verschiebungen und Umformungen der Teile sehr abweichende Endformen verschiedener Pflanzen auf gleichmäßige Typen der Bildung zurückzuführen.

§ 83.

Diese verschiedenen 'Typen' selbst in eine aufsteigende Reihe zu ordnen ist, weil die Pflanze zu keiner äußeren Leistung bestimmt ist, der sie mehr oder minder genügen könnte, nur nach dem logischen Gedanken möglich, daß die größere Mannigfaltigkeit der durch ein allgemeines Gesetz beherrschten Beziehungspunkte größeren Wert hat, als die geringere. Man schätzt daher die Pflanzentypen nach dem Maß der Differenzierung in verschiedene Organe, der Verteilung der Arbeit an diese und der mannigfaltigen Zusammensetzung von Einzelorganismen zu einem Ganzen.

Von allen hierher gehörigen Funktionen, deren Verteilung an Organe in Betracht kommt, ist die Fortpflanzung die wichtigste. Und die 'Vollkommenheit' der Pflanzen wächst in dem Maß, als sie diese Aufgabe unter den schwierigsten Bedingungen mit gleicher Sicherheit lösen.

Man weiß nun, daß in größter Ausdehnung und in mannigfaltigen Formen eine Fortpflanzung durch bloße Ablösung eines Teils einer Pflanze vorkommt. In diesen Fällen ist eine größere Zellenmenge vorhanden, welche bereits eine bestimmte Einwirkung äußerer Wachstumsbedingungen erfahren und dadurch einen individuellen Charakter angenommen hat, den sie nach ihrer Ablösung von der Mutterpflanze durch ihr eigenes Wachstum weiter entwickelt. Hierauf beruht die Fortpflanzung der Varietäten durch Stecklinge, Knospensaat ꝛc.

Dieser Vererbung individueller Eigenschaften scheint nun im ganzen Pflanzenreich die geschlechtliche Zeugung entgegengesetzt zu sein. Die geringe Menge von Masse, welche sich in einem 'Samen' findet, wird zwar auch den individualisierenden Einfluß jener äußern Lebensbedingungen erfahren haben, aber an sich schon ihrer Kleinheit wegen weniger imstande sein, das erhaltene Gepräge fortzusetzen. Nun aber kommt hinzu, daß in der sexuellen Fortpflanzung dieser 'Samen' überhaupt unfähig ist, ohne die Befruchtung durch eine anderswo entstandene lebendige Zelle sich zu entwickeln.

In den niedersten Pflanzen ist eine Differenz beider so zusammentretenden Zellen nicht bemerklich; zu höheren aufsteigend finden wir sie zunächst in besonderen und verschieden gebildeten Zellenschichten der Mutterpflanze gebildet. In den 'Phanerogamen' aber erscheinen sie als bestimmt unterschiedene Kreise von Gebilden der Achse, zunächst in einer 'Blüte' vereinigt, dann auch an verschiedene Blüten verteilt, endlich diese selbst auf verschiedenen Pflanzenindividuen wachsend. Auch in den Fällen aber, wo männliche und weibliche Organe in derselben Blüte vereinigt sind, finden sich in der räumlichen Stellung beider, in ihrer Gestalt und in der Ungleichzeitigkeit ihrer Reife sehr viele Hindernisse, welche den Zweck der Verhinderung der Befruchtung zu haben scheinen, so daß der 'Pollen' der einen Blüte die Narben' anderer Blüten zu befruchten bestimmt ist. Der allgemeine Gedanke dieser Einrichtungen würde also das Bestreben sein, solche Keimelemente zusammenzuführen, die unter differenten äußern Umständen entstanden sind, durch deren Vereinigung mithin keine ihrer individuellen Eigentümlichkeiten, sondern der allgemeine Durchschnitt der Entwicklung der Gattung fortgeführt wird.

Auch die merkwürdigen Thatsachen des Generationswechsels lassen sich hieran anschließen. Während in den höheren Pflanzen die weibliche Fruchtzelle nach der Befruchtung in dem Mutterorganismus bis zur Samenreife fortentwickelt wird, wird sie in niederen Pflanzen zum Teil unbefruchtet abgestoßen, erfährt dann eine von dem Mutterorganismus formell wesentlich verschiedene kleinere oder größere Strecke eigner Entwicklung, die dann mit der Befruchtung abschließt und nun erst einen Keim produziert, aus welchem eine Erneuerung der Mutterpflanze hervorgeht.

§ 84.

Die Verhältnisse der Tierwelt sind anders. Während bei den Pflanzen fast beständige Gestaltentwicklung vorkommt, sind bei den höheren Tieren wenigstens diese Vorgänge in einen kurzen

Zeitraum zusammengedrängt und es folgt eine längere Periode, in welcher das Gebildete nur erhalten und zu weiteren Lebensleistungen, zu Verwandlung der äußeren Thatsachen in Empfindungen und zu Rückwirkung auf dieselben durch Bewegungen, verwandt wird.

Das Vorhandensein dieser beiden Zwecke gestattet uns besser, als bei den Pflanzen, eine Skala des Wertes der verschiedenen Geschöpfe. Käme es nur auf Selbsterhaltung an, so würde der einfachste, am wenigsten gegliederte Organismus der vollkommenste sein, da er diese Aufgabe mit dem geringsten Aufwand löst. Aber die kompliziertere Organisation, die einerseits allerdings nur wachsende Schwierigkeiten der Selbsterhaltung beseitigt, gestattet andererseits auch eine größere Höhe und Vielseitigkeit der Lebenszwecke.

§ 85.

Man kann in allen diesen Bildungen Typen in verschiedenem Sinn unterscheiden:

1) sind diese allgemeinen Aufgaben des Lebens nicht durchaus an bestimmte Stoffe gebunden; und auf andern Planeten oder Fixsternen ließen sich lebendige Systeme aus ganz andern Elementen denken. An der Oberfläche der Erde dagegen bringen die herrschenden Bedingungen mit sich, daß nur eine sehr geringe Auswahl von Stoffen diesem Zweck dienen kann; und es entsteht daher ein gleichmäßiger chemischer Typus aller Tierorganismen. Sie sind zwar nicht durchaus an denselben Grundstoff gebunden, aber die Eiweißkörper, das Chitin, die Sarkote und was sonst noch vorkommen mag, scheinen doch nur Modifikationen derselben Molekularzusammensetzungen. Hieraus folgt nun

2) daß, wenn die Zunahme des Körpers nicht mehr das Fortbestehen durch bloße Molekularwirkungen zwischen ihm und der Umgebung möglich, sondern eigene Apparate und Funktionen nötig macht, sich auch ein sehr gemeinsamer ökonomischer Typus der Tierwelt ausbilden muß: dieselben Funktionen der 'Respiration', der 'Gallen-

bildung', der 'Harnbildung' und die zu ihnen nötigen Organe finden sich daher durch das ganze höhere Tierreich kenntlich wieder.

Wenn nun zu diesen Bedingungen noch die andern kommen, welche namentlich eine bestimmte Bewegungsfähigkeit des ganzen Körpers zu bestimmten Zwecken oder in einem bestimmten Umgebungselement hinzubringen, so kann man sich denken, daß alle diese Forderungen zugleich überhaupt nur durch eine begrenzte Anzahl von Schematen der Anordnung der Teile erfüllbar sind, und es entstehen nun erst

3) die verschiedenen morphotischen Typen der Tierwelt. Denn allerdings können wir nicht von einem sprechen, sondern von mehreren; und namentlich die niedere Tierwelt, welche wenigeren Bedingungen zu genügen hat, zeigt eine größere Verschiedenheit der Anordnung. In den höheren Klassen stellen uns der Typus der 'Tiere mit Hautskelett' und der der 'Wirbeltiere' zwei solche charakteristische Typen dar, deren einzelne Bestandteile überall nach denselben allgemeinsten Regeln angeordnet sind und nur durch ihre weiteren Modifikationen die bestimmten voneinander sehr abweichenden und den Lebensbedingungen angepaßten Endformen der verschiedenen Klassen erzeugen.

Achtes Kapitel.

Das Reich der Gattungen.

§ 86.

Wenn wir von einem 'Reich' der Natur, speciell der Pflanzen oder Tiere, von 'Arten' und 'Gattungen' sprechen, so sind alle diese Ausdrücke ganz verständlich zuletzt nur unter der Annahme, daß es eine einheitliche Macht giebt, welche die Endgestalten der Geschöpfe festgestellt, ihre Unterschiede und systematische Stellung gewollt hat und beide im Lauf der Ereignisse erhält. Oder kurz: wir betrachten Pflanzen und Tiere nicht bloß als natürliche, sondern als Natur-Produkte.

Dieser Unterschied wird auch dann bestehen bleiben, wenn die erwähnte Annahme vollständig begründet wäre. Kein 'Naturzweck', keine 'Idee der Gattung' kann sich verwirklichen ohne reale Mittel, d. h. ohne Stoffe, die an sich gleichgültig dagegen sind, wozu sie verwandt werden, und ohne Kräfte dieser Stoffe, deren Wirken bloß allgemeinen Gesetzen folgt und daher unter verschiedenen Umständen ganz verschiedene Effekte erzeugen kann. Giebt es nun irgendwo in dem Naturlauf eine Quelle von Bewegungen, welche sich nicht im voraus mathematisch als notwendige Funktionen der Umstände berechnen lassen, sondern in diesem Sinn 'zufällig' sind (wie z. B. die Handlungen beseelter Wesen), so kann es stets Kombinationen der Umstände geben, aus welchen, immer gemäß den allgemeinen natürlichen Gesetzen, aber unabhängig von einem 'Naturzweck' oder selbst im Streit mit ihm, eine Reihe von Ereignissen oder die Bildung von Produkten entstehen muß, die bloß noch natürliche aber nicht Natur-Produkte sind.

Dergleichen kommt in der That in größter Ausdehnung vor. Alle unsere Kunstwerke können nur entstehen und bestehen auf Grund der naturgesetzlichen Wirkungen (z. B. Kohäsion, Festigkeit), welche die benutzten Elemente aufeinander ausüben. Unzählige chemische Produkte erzeugen wir in Laboratorien unter Bedingungen, die in der freien Natur niemals vorkommen. Auch dies sind also Erzeugnisse, die zwar nur auf Grund natürlicher Gesetze möglich, aber auch nur auf Grund unserer Willkür wirklich sind. Endlich muß man der krankhaften Erzeugnisse gedenken, die im Leben des Organismus entstehen und die, wie z. B. die Zellen eines Carcinoms, nicht bloß Zerstörungen eines normalen Lebens sind, sondern zugleich eine Fähigkeit zur Entwicklung und Fortpflanzung besitzen, durch welche sie den legitimen Organismen formell ähnlich werden. Dennoch wird man nicht geneigt sein, sie zu diesen zu rechnen, sondern lieber die Möglichkeit zugeben, außerhalb des Tier- und Pflanzenreichs gebe es noch eine ungeordnete Menge von Erzeugnissen, die bei Verwirklichung jener nebenbei, zwecklos oder zweck-

widrig, aus der bloß unvermeidlichen, aber nicht beabsichtigten Wechselwirkung der benutzten Elemente entspringen.

§ 87.

Wenn nun selbst unter der Voraussetzung bestimmter 'Naturzwecke' dennoch zugegeben werden muß, daß außer dem, was ihnen entspricht, eine Reihe nicht sein sollender, aber unvermeidlicher Vorgänge und Gebilde zustande kommt, so wird dadurch der ganze Gedanke von 'Naturzwecken' schwankend und die Frage entsteht, ob nicht überhaupt alles, was ist, bloß als notwendige Folge verschiedener Konstellationen der Elemente zu betrachten ist, Zahl und Art dieser Konstellationen selbst aber durch keinen Plan voraus begrenzt wird.

Soll dies nun nicht sein, so müssen die illegitimen Produkte natürlicher Kräfte sich von den legitimen Naturprodukten dadurch unterscheiden, daß sie zwar vorübergehend entstehen, aber sich nicht dauernd erhalten und zu dem Reich der Geschöpfe keine neuen Arten hinzufügen. Oder anders gesagt: da die 'Ideen der Gattungen' an sich unwirksame Muster sind und nur realisiert werden, wenn Stoffe und Kräfte so zusammen kommen, daß aus ihnen das, was die 'Idee' will, als mechanisch notwendiger Effekt entspringen muß, so würde man von der zwecksetzenden Vernunft nur eine Schöpfung solcher Stoffe, solcher Kräfte und solcher ursprünglichen Dispositionen derselben behaupten können, daß unter den vielen möglichen Kombinationen der Elemente nur die jenen Ideen dienstbaren gewissermaßen Lagerungen des Gleichgewichts bilden, das sich in fortwährender Entwicklung erhalten kann, die andern aber Lagerungen des Ungleichgewichts, aus denen der Verlauf der Vorgänge immer wieder in die ersten zurücklenkt.

§ 88.

Vergleichen wir nun die Erfahrungen, so finden wir im gegenwärtigen Naturlauf zuerst entschiedene Trennung des Organischen

vom Unorganischen. Niemals erzeugt sich organische Substanz anders als durch das Medium schon bestehender Organismen.

Gehen wir freilich in die Vorgeschichte der Natur zurück und folgen wir den über sie geltenden Annahmen, so würde es allerdings eine Zeit haben geben müssen, in welcher unter eigentümlichen Bedingungen, von denen wir, aufrichtig gesagt, uns nicht die mindeste auch nur problematische Vorstellung machen können, die chemischen Elemente zuerst zu organischer Substanz zusammentraten.

Allein auch diese Annahme läßt immer eine doppelte Beleuchtung zu. Es ist ganz willkürlich, jenen Vorgang bloß als ein mechanisches Datum anzusehen, das notwendig, aber planlos eingetreten sei. Es läßt sich ebensogut denken, daß er ein bestimmtes Glied in einer prämeditierten Entwicklungsreihe der Erde gewesen sei und deswegen nur in bestimmter Zeit sich ereignet habe.

§ 89.

Vom Pflanzenreich zum Tierreich findet in unserer Erfahrung kein genetischer Übergang statt, obgleich es zahlreiche Organismen geben mag, deren systematische Zuordnung zu dem einen oder andern zweifelhaft ist. Dagegen ist in neuerer Zeit die andere Frage wichtig geworden, ob innerlich jedes dieser 'Reiche' in eine bloß systematisch angeordnete Reihe fester und genetisch nicht ineinander übergehender 'Species' zerfalle.

Der Name 'Species' kann nicht in bloß deskriptivem Sinn genommen werden. Er soll das bezeichnen, was durch seine eigene Natur zusammengehört und sich von Fremdem selbst abscheidet. Daher konnte real nur das zu einer 'Species' zusammengehören, was untereinander sich zu unbegrenzt fruchtbarer Fortpflanzung vereinigen kann. Dagegen stellen sich zwei Species als zwei verschiedene dadurch fest, daß sie einesteils dieses Merkmal entbehren, anderntteils durch keinerlei Einflüsse ineinander übergeführt werden können.

Was also zu einer 'Species' gehörte, wurde als 'Varietät', d. h. als individuelle oder auch vererbte eigentümliche Ausprägung derjenigen Beziehungen angesehen, die sozusagen in der allgemeinen Gleichung der Species noch unbestimmt gelassen waren. Was dagegen zu zwei 'Species' gehörte, dachte man sich als beruhend auf zwei Gleichungen, die rücksichtlich der Funktionsform der verbundenen Größen verschieden waren. Auch diese Unterschiede ließen noch Vergleichungen zu, die größere oder geringere Grade der Verwandtschaft enthielten. Daraus entstanden die Namen der 'Gattungen', 'Familien' 2c., die so weit Wert haben, als man imstande ist, die Wichtigkeit der für sie zu grunde gelegten Ähnlichkeiten in dem allgemeinen Gange der Vegetation abzuschätzen.

Nun aber mußte man zugleich als möglich ansehen, daß auch zwei verschiedene Species, wenn sie zusammenwirkten, nicht immer bloß unmögliche, sondern auch wirkliche Resultate gaben, d. h. sich fortpflanzten; und ihren größeren Unterschied konnte man reell bewiesen bloß darin finden, daß wenigstens diese Produkte sich untereinander gar nicht oder nur unvollkommen fortpflanzten.

Diese an sich ganz logisch gebildeten Begriffe fanden nun bloß Schwierigkeiten in der Anwendung und würden noch jetzt als das anzusehen sein, was man entweder bestätigen oder widerlegen muß.

§ 90.

Die Beobachtung zeigt, daß an demselben Baum kein Blatt, keine Blüte und Frucht der andern mathematisch kongruent ist. Die Bedingungen, welche hier die Entwicklung variieren, lassen auch schon aus derselben Samenkapsel Samen hervorgehen, die unter gleichen äußeren Umständen verschieden kräftig und selbst formverschieden wachsen. Kein Kind derselben Eltern endlich ist dem andern gleich. Dort haben örtlich, hier zeitlich verschiedene Dispositionen die Anlage der Keime beeinflußt.

Die so entstandenen Unterschiede, auf der Menge der vegetierenden Masse, der Begünstigung oder Hemmung des interkalaren

Wachstums nach verschiedenen Richtungen, der Verkümmerung und der Überproduktion einzelner Teile beruhend, verschwinden nicht immer mit dem Aufhören ihrer Ursachen, steigern sich vielmehr bei längerer Fortdauer derselben zu erblich fortpflanzbaren sehr beträchtlichen Unterschieden des Habitus.

Wenn man dennoch geneigt ist, diese alle bloß als 'Varietäten einer Species' zu betrachten, in der Voraussetzung, daß das specifische Bildungsgesetz in ihnen allen doch dasselbe bleibe, so ist zuzugeben, daß man sich hierbei einigermaßen im Zirkel bewegt, weil man eben diese Gesetze nicht so weit kennt, um nachweisen zu können, daß die entscheidenden Punkte, deren unverbrüchliche Beständigkeit von ihnen verlangt würde, sich in allen jenen Varietäten wirklich erhalten zeigen.

Man kann daher nur sagen, daß der vereinigte Eindruck aller Erfahrungen uns die Existenz abgeschlossener Species wahrscheinlich macht, von denen verschiedene in sehr verschiedenem Grade imstande sind, sich innerhalb ihres abgeschlossenen Kreises zu vielerlei Varietäten von langer Dauer auszubilden, ohne jemals in den Formenkreis einer andern Species überzugehen.

§ 91.

An diesem Vorurteile zu zweifeln hat hauptsächlich der Versuch veranlaßt, die Entstehungsgeschichte der Organismen durch Substituierung einer physischen Transmutation derselben an die Stelle einer bloß systematischen Verwandtschaft zu begreifen. Hierzu braucht Darwin folgende Grundsätze.

Zuerst habe jedes organische System von Elementen die Neigung zu variieren, und zwar ohne alle bestimmte Richtung. — Dieser Ausdruck ist mechanisch unkorrekt.

Soll die 'Neigung' eine wirkliche Bewegung bedeuten, in welcher jedes solche System, wenn auch sehr langsam, begriffen wäre, so könnte sie nicht richtungslos sein, sondern würde anstatt einer zufälligen Variation die Entfaltung einer bereits in den

ersten Anfängen prämeditierten Entwicklungsreihe sein. Übrigens zeigt die Erfahrung nichts davon, vielmehr unter gleichen Verhältnissen immer, und sogar unter den ungleichsten sehr häufig, die unveränderte Reproduktion desselben Typus.

Bedeutet aber jene 'Neigung' eine bloße Möglichkeit, also die Verschiebbarkeit jedes Teils eines Systems nach jeder Richtung, so wird doch hieraus ein wirklicher Vorgang erst durch eine äußere Ursache, welche die Richtung einer Variation bestimmt. Denn die wirkliche kann nur nach einer Richtung, mit Ausschluß der andern, gehen. — Außerdem aber ist zu bedenken, daß die Verknüpfung, in der jedes Element des Systems mit den andern steht, stets einen Widerstand gegen jene 'Variationen' bilden muß, so daß überhaupt nur diejenigen zustande kommen, zu denen es eine veranlassende äußere Ursache giebt, und die außerdem mit den Bedingungen der fortdauernden Entwicklung und Fortpflanzung dieses Systems in Übereinstimmung sind.

§ 92.

Die zweite Annahme ist die, daß jede einmal entstandene 'Variation' sich zu vererben suche.

So allgemein ausgedrückt widerspricht dies dem vorigen Satze. Aber auch davon abgesehen, würde die 'Vererbung' um so weniger möglich sein, je bestimmter man jeden einzelnen Teil selbständig 'variieren' läßt. Denn wenn man hierdurch leugnet, daß seine Änderungen durch den Zusammenhang mit den übrigen Teilen in bestimmte Grenzen eingeschränkt werden, so kann man nun auch rückwärts von der Variation eines Teils keine solche Rückwirkung auf das Ganze erwarten, durch welche dieses genötigt würde, in der Fortpflanzung eben diese Varietät wieder hervorzubringen.

Man muß also annehmen, daß nur solche Variationen sich vererben, durch welche bloß eine in den Plan des organischen Systems aufgenommene, aber ihrem Werte nach unbestimmt gelassene Größe einen bestimmten Wert erhalten hat. Denn nur von dieser ist es

möglich, obgleich gar nicht notwendig, daß sie, vermittelst dieses planmäßigen Zusammenhangs, eine zu ihrer eigenen Vererbung führende Umänderung des ganzen Systems bedingt.

§ 93.

Aus der unzähligen Menge der so entstehenden zufälligen Bildungen sollen nun drittens die wirklich bestehenden und sich erhaltenden Species dadurch hervorgegangen sein, daß diejenigen, die mit den äußeren Bedingungen im Streit waren, sofort zu grunde gingen, von denen aber, die sich mit diesen Bedingungen mehr oder minder gut vertrugen, die allein sich erhielten, welche als am vollkommensten gebildet in dem 'Kampf um das Dasein' siegten, der dann stattfindet, wenn verschiedene Gebilde qualitativ und lokal auf dasselbe Quantum gleicher Lebensreize angewiesen sind, die dann der Stärkere dem Schwächeren vorwegnimmt.

Allein dieser an sich richtige Gedanke reicht nur aus, um zwischen schon bestehenden Variationen einer gegebenen organischen Form das Übergewicht derjenigen zu begreifen, die sich den Umständen am besten anpaßt; aber nicht, um die Entstehung der vorhandenen organischen Formen selbst zu erklären.

Keine 'Adaptation' an die Außenwelt kann durch eine Thätigkeit der Organismen geschehen, die nicht in dem vorhandenen Bestande ihrer verbundenen Elemente und der Einwirkung der äußeren Bedingungen als mechanisches Resultat fundiert wäre. Man kann daher von den äußeren Einwirkungen, die ja keineswegs unendlich verschieden und geheimnisvoll sind, keine Entwicklung des Organismus zu einer Bildung erwarten, die irgend einer zukünftigen Lage der Dinge, einem künftig erst realisierbaren Zweck entspräche. Wenigstens kann man das nur dann, wenn man den Grund dazu, der in den äußeren Bedingungen nicht liegen kann, als ein prämeditiertes Entwicklungsgesetz, dessen Folgen bloß erst nach und nach zu Tage kommen, in den Organismus selbst verlegt, also das Princip 'zufälliger Variation' aufgiebt. — So

ist nicht abzusehen, wie aus einem zufälligen Auswuchs bloß durch äußere Bedingungen ein Bewegungsorgan oder ein Auge entstehen könnte, da beide, so lange sie nicht fertig sind, zu keinem Gebrauch dienen, es auch ein ganz leeres Gerede ist anzunehmen, daß 'fortgesetzte' Einwirkung äußerer Reize eine 'zufällige' Bildung in dieser auf einen künftigen Zweck berechneten Richtung weiter entwickeln könnte.

Will man also nicht absolute Unwahrscheinlichkeit bloß deshalb, weil logisch ihre Unmöglichkeit nicht kurz darzuthun ist, zum Erklärungsprincip benutzen, so kann von einer 'Transmutation' der Geschöpfe auf Grund dieser 'zufälligen Variationen' nicht die Rede sein, sondern höchstens von einer Entwicklung derselben auseinander, die von allem Anfang an an einen ganz bestimmten Fortschritt gebunden war, nach und nach bloß das erzeugt, was innerhalb dieses Bildungsgesetzes als eine Reihe möglicher Fälle lag, alle 'zufälligen' Variationen dagegen wieder aus dem Lauf der Dinge zu eliminieren sucht.

§ 94.

Die Absicht selbst, in der diese Theorie unternommen worden ist, nämlich die Mannigfaltigkeit aller vorhandenen Organismen kausal aus einem 'Ur-Organismus' abzuleiten, läßt Einwände zu.

Gesetzt, daß unter durchaus unvorstellbaren Umständen in einer bestimmten Geschichtsepoche des Erdkörpers sich die Elemente zuerst zu einem organischen Protoplasma verbunden hätten, so ist sehr unwahrscheinlich, daß dies nur an einem Punkte, und ebenso, daß es ganz gleichförmig über die ganze Erdoberfläche geschehen sei, die jedenfalls schon damals eine verschiedene Gestalt ihrer einzelnen Teile angenommen hatte. Man wird daher die Organismen weder von einem Exemplar der Urform noch überhaupt von einer Urform abzuleiten haben. Es ist wahrscheinlicher, daß von Anfang an eine vielleicht nicht unbeträchtliche Anzahl verschiedener Typen entstand, in welche sich die organische Materie nach den verschiedenen lokalen Bedingungen einteilte.

Von da aus könnte man versuchen, die jetzt bestehende Vielheit auf weitere Entwicklung jedes einzelnen Typus in sich selbst zurückzuführen, müßte jedoch zugestehen, daß man eine wirklich anschauliche Vorstellung von den Bedingungen gar nicht erreicht, welche hierzu geführt haben könnten. Am wenigsten ausreichend erscheinen hierzu die 'zufälligen Variationen' der Transmutationslehre; auch wenn man sie sich durch unbegrenzte Zeiträume hindurch summiert denkt.

Vielleicht könnte man im Gegenteil den andern Gedanken verwerten, daß ein bestimmter Typus T, wenn er in irgend einem Exemplare durch äußere Einwirkungen eine Variation erfahren hat, dann vermöge seiner eigenen Natur in sich einen Trieb entwickelt nicht zu der Form T zurückzukehren, sondern in eine andere, vielleicht sehr differente T′ überzugehen, welche ihm jetzt als neue Gleichgewichtslage näher ist als T. Es würde in dieser diskontinuierlichen Entwicklung der organische Bildungstrieb selbst nicht bloß die Richtung der Weiterbildung bestimmen, sondern zugleich eine große Menge der dazu führenden Vorgänge einleiten, die man nach der andern Ansicht lediglich vom Zufall erwarten muß. — Die Erfahrung freilich bietet auch für diese Annahme keine Belege.

Neuntes Kapitel.

Vom Ganzen der Natur.

§ 95.

In dem letzterwähnten Streite handelt es sich nicht bloß um eine specielle naturhistorische Frage, sondern offenbar um den Versuch, aus der Betrachtung der Natur alles zu eliminieren, was an die Thätigkeit einer zwecksetzenden Vernunft oder nach gewöhnlichem Ausdruck eine göttliche Leitung in ihr erinnert. Die großen Erfolge, welche die bisher erwähnten Begriffe von 'Naturgesetzen' bisher im Einzelnen möglich gemacht haben, führen sehr natürlich zu der Annahme, daß man in ihnen und in den Vorstellungen 'unverän-

derlicher Elemente' mit veränderlichen Relationen' ein durchaus genügendes Fundament aller Naturansicht besitze.

Nun ist die gewöhnliche Vorstellung von 'an sich gültigen Naturgesetzen', denen sich die thatsächlich vorhandenen Elemente in jedem Augenblick unterwerfen müssen, doch nur mit großer Vorsicht zu gebrauchen. Gesetze können nicht an sich irgend eine Wirklichkeit haben, abgesehen von den Anwendungsfällen, in denen sie gelten. Sie bezeichnen dann weiter nichts, als den Gedanken des gleichmäßigen Verhaltens der Elemente, den wir in unserem Denken aus der Vergleichung vieler Fälle abstrahiert haben.

Daraus folgt nun, daß man den 'Gesetzen' nicht eine Macht zuschreiben kann, durch welche sie die ursprünglich ihnen fremden reellen Elemente zwängen ihnen zu gehorchen. Und dann entsteht nun, nachdem die 'Gesetze' nicht mehr als ein von außen her die Elemente zusammenzwingendes und verknüpfendes 'Band' gelten können, die Frage: wie es überhaupt denkbar sei, daß ein Element auf ein anderes wirke, und woher die bestimmten Formen des Wirkens kommen, die uns später erlauben, die Wirkungen aller so anzusehen, als seien sie allgemeinen Gesetzen unterworfen.

§ 96.

Hierauf glaubt die Metaphysik antworten zu müssen, daß unmöglich die Elemente, die einen solchen Weltlauf zusammensetzen, als ursprünglich verschiedene, bloß thatsächlich nebeneinander vorkommende, sonst aber in keiner notwendigen Relation stehende angesehen werden können.

Damit es überhaupt möglich ist, ihr 'Wirken' allgemeinen Gesetzen zu subsumieren, müssen sie von Anfang an qualitativ soweit vergleichbar sein, daß sie Glieder eines Systems von Reihen sind, in welchem jedes seinen bestimmten Platz hat.

Damit aber ferner eine Folge F, welche auf Grund dieser 'Vergleichbarkeit' aus irgend einer Verknüpfung realer Elemente denknotwendig flösse, auch in Wirklichkeit, als physisches Ereignis,

entstehe, ist es noch weiter nötig, alle Elemente als bloße unselbständige Modifikationen einer einzigen wahrhaften Substanz zu fassen, weil nur so der 'Übergang' des Wirkens zwar nicht begreiflich, aber doch widerspruchslos wird.

Denn es ist dann nicht ein unabhängiges Wesen A, welches auf ein anderes B, das gleichfalls unabhängig wäre, eine hiermit streitende Wirkung ausübte, so daß nun doch B in eine Abhängigkeit von A geriete und sich nach dessen Zuständen richten müßte. Vielmehr jede Wirkung, die von A zu B 'überzugehen' scheint, ist ein immanentes Geschehen innerhalb der allgemeinen Substanz. In keiner ihrer 'Modifikationen' A kann eine Änderung eintreten, ohne daß dadurch der Gesamtsinn der Substanz verändert würde und ohne daß darauf eine rückwirkende Selbsterhaltung ihrer Natur erfolgte, durch welche in einem andern sekundären Wesen B eine kompensierende Änderung entstände, welche den Gesamtsinn der Substanz wiederherstellte.

§ 97.

In weiterer Ausführung drängt dann diese Ansicht zu der Überzeugung, daß sowohl die einzelnen Elemente, die wir als konstant ansehen, als auch die Kräfte, die wir als ihnen immer inhärierend betrachten, so absolut nicht sind. Sie sind und wirken in jedem Augenblick nur das, was ihnen sozusagen im Auftrag der 'allgemeinen Substanz' zu sein und zu wirken zukommt. Und deshalb sind beide, die Elemente wie ihre Kräfte, ihrem Begriffe nach nicht so konstant, wie die Naturwissenschaft es als selbstverständlich voraussetzt.

Wenn innerhalb unseres ganzen Erfahrungsgebiets thatsächlich diese 'Konstanz' dennoch besteht und mithin für die gewöhnliche Naturlehre zu grunde gelegt werden kann, so beweist dies bloß, daß wir uns in einem Stadium der Entwicklung der allgemeinen Substanz befinden, in welchem faktisch eine langdauernde Gleichförmigkeit des Weltlaufs eingetreten ist, die aber gar nicht unmög-

lich macht, andere Perioden als vorangegangen zu denken, welche diesen Zustand erst begründeten und in welchen andere Intensitäten der Kräfte und andere Verwandtschaften der Elemente zu einander bestanden.

Immer aber wird man auch in Bezug auf solche unserer Erfahrung unzugängliche Abschnitte des Weltlaufs festhalten müssen, daß in ihnen keine zufälligen Gegenwirkungen vereinzelter Elemente, sondern immer die Entfaltung eines 'Weltganzen' stattfand, in welchem die Änderungen der zerstreuten Teile stets durch einen alle umfassenden Plan gelenkt wurden.

§ 98.

Auf sehr kurzem Wege nicht, aber doch auf einigen Umwegen ließe sich zuletzt begründen, daß jene 'allgemeine Substanz' nicht nach dem Bilde eines selbstlosen und blind wirkenden Stoffes, sondern allerdings nur in der Form eines Geistes gedacht werden kann.

Diese Anknüpfung der Naturwissenschaften an das religiöse Gebiet kann keinen speciellen Nutzen für die einzelnen Aufgaben der Naturforschung haben. Sie würde aber doch dazu mindestens führen, die krankhafte Scheu zu überwinden, die man auf diesem Gebiet gegen jeden Begriff einer 'Schöpfung' oder einer 'Regierung' der Natur zu empfinden pflegt.

Es kann natürlich nicht unsere Meinung sein, jene 'Schöpfung' in einer Anzahl principlos aufeinander folgender Willensakte zu sehen, die, einander zum Teil widersprechend, beständig das modifizierten, was frühere hervorgebracht hätten. Sondern nur darauf kommt es an, zuzugestehen, daß der ganze gegliederte Mechanismus, durch den die Welt sich erhält und fortentwickelt, nichts anderes ist, als der Gesamtausdruck des geistigen Entwicklungstriebes, durch den jene 'absolute Substanz' sich entfaltet.

Druck von Grimme & Trömel in Leipzig.

Lotze, Hermann,

Grundzüge der Naturphilosophie Diktate aus den Vorlesungen

Leipzig 1889